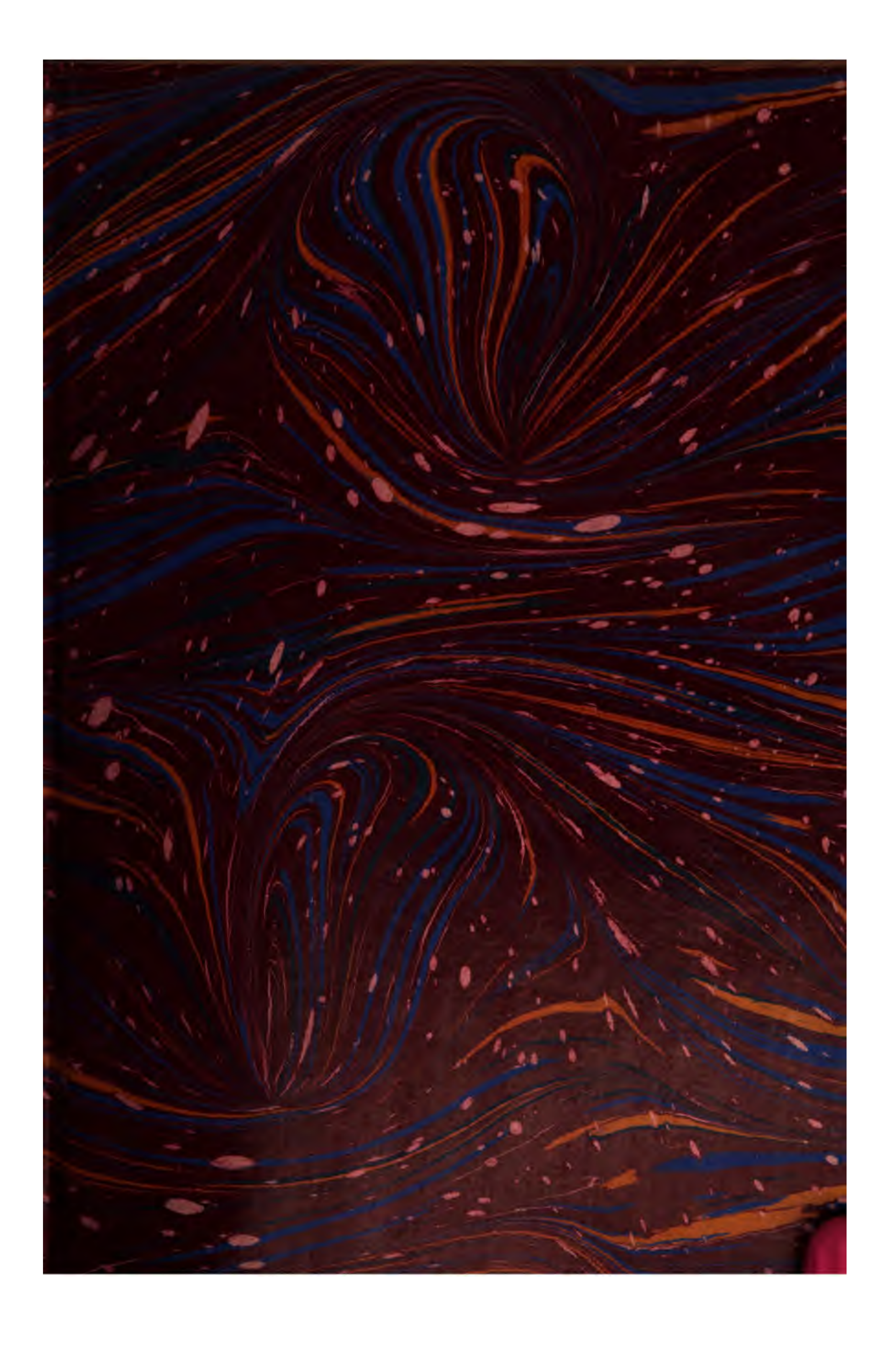



PRESS G. 27.
SHELF L.
No 1.



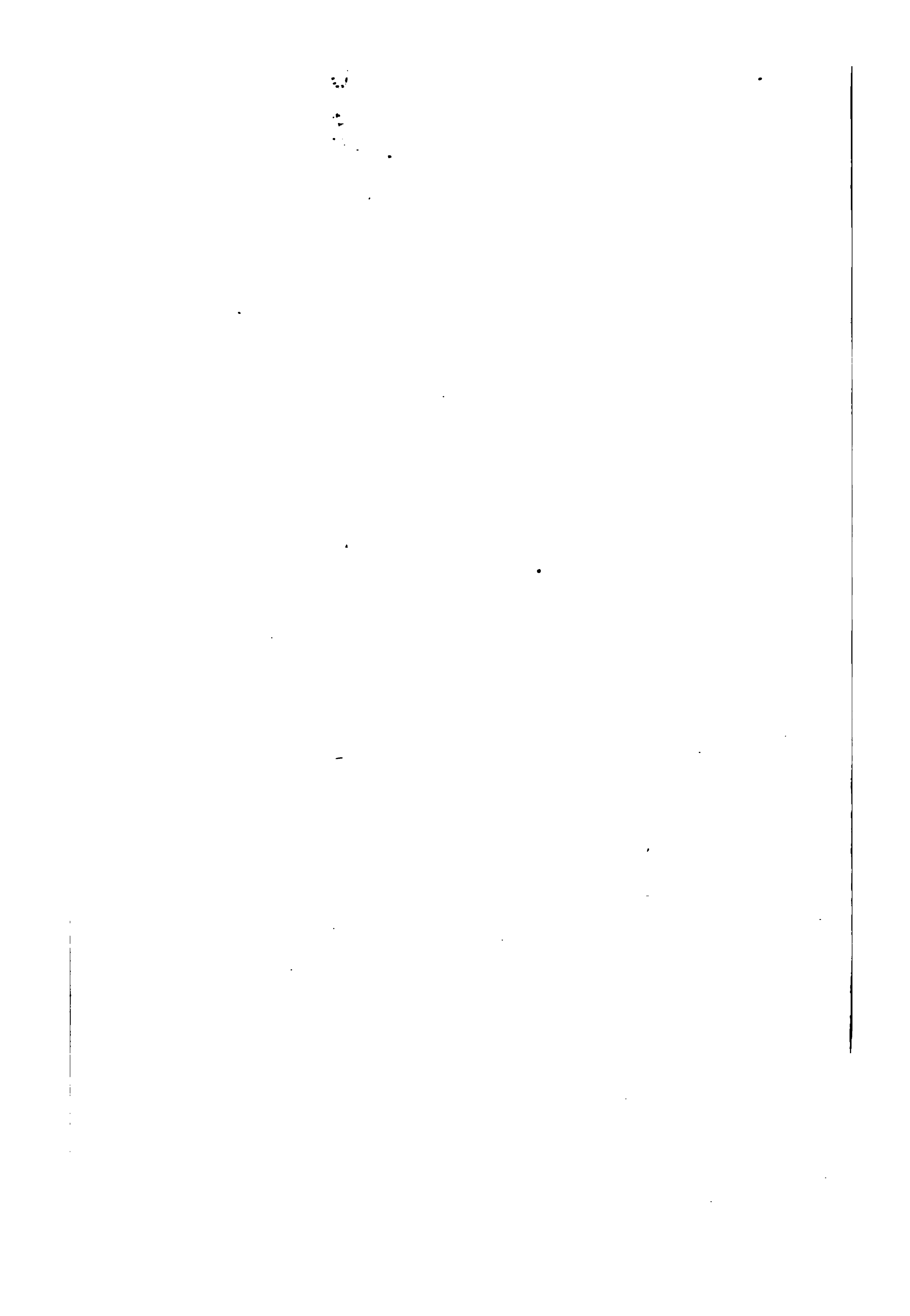


PHOTOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN.



PHOTOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN.





PHOTOMETRISCHE
UNTERSUCHUNGEN

MIT BESONDERER RÜCKSICHT

AUF

DIE PHYSISCHE BESCHAFFENHEIT

DER

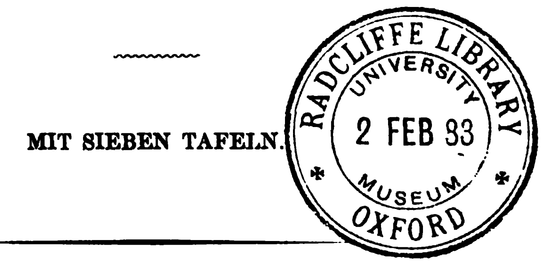
HIMMELSKÖRPER

VON

Dr. J. C. F. ZÖLLNER

PRIVATDOCENT AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG.

MIT SIEBEN TAFELN.



LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1865.

»Nec manus nuda, nec intellectus sibi permissus, multum valet: *instrumentis* et *auxiliis* res perficitur, quibus opus est non minus ad intellectum quam ad manum.

»Insanum quiddam esset et in se contrarium, existimare ea quae adhuc nunquam facta sunt, fieri posse, nisi per modos adhuc nunquam tentatos.«

Baco Verulamius.
Novum Organum, Lib. I. Aphor. II et VI.

DEM ANDENKEN

BOUGUER'S UND LAMBERT'S

GEWIDMET.

VORWORT.

Als ich vor vier Jahren meine »*Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels*« der Oeffentlichkeit übergab, hatte ich wenig Hoffnung, die darin ausgesprochenen Ideen zur Verbesserung und Verallgemeinerung der mitgetheilten astrophotometrischen Methode in nächster Zeit verwirklichen zu können. Theils persönliche Verhältnisse, theils die mancherlei Mängel, welche man dem von mir construirten Instrumente vorwarf, ohne sich der Mühe zu unterziehen, dasselbe practisch zu prüfen, drohten die Fortsetzung der begonnenen Untersuchungen in weite Ferne hinaus zu rücken.

Da bot sich mir durch die freundliche Theilnahme des Herrn Professor Bruhns, dem ich mich für dieselbe zum aufrichtigsten Danke verpflichtet fühle, die Gelegenheit, meine photometrischen Beobachtungen an der unter seiner Leitung stehenden, neuen Universitäts-Sternwarte zu Leipzig wieder aufzunehmen. Letztere liess im Mai 1862 ein nach meiner Angabe construirtes Photometer, unter Anwendung mehrerer bereits in meiner früheren Schrift angedeuteten Verbesserungen, anfertigen.

So wurde z. B. die, zur Erzeugung der künstlichen Sterne bisher angewandte, Gaslampe durch eine besonders construirte Petroleumlampe ersetzt, wodurch das Instrument sehr bedeutend an Bequemlichkeit gewann. Ferner wurden durch Anwendung geeigneter Convexlinsen die künstlichen Sterne vor die reflectirende Glasplatte verlegt, eine Verbesserung, welche es gestattet, mein Astrophotometer selbst auf die schwächsten Sterne anzuwenden.

Die wesentlichste Verbesserung jedoch besteht darin, dass das Photometer eine Einrichtung erhalten hat, durch welche es mit jedem beliebigen, auch parallactisch montirten, Fernrohre in Verbindung gesetzt werden kann, wie diess die vorliegenden Untersuchungen zur Genüge beweisen werden.

Das ganze so verbesserte Astrophotometer, inclusive Colorimeter, hat mit einem Kostenaufwande von c. 70 Thalern hergestellt werden können, was ich mir bezüglich der hohen Preise anderer, denselben Zweck verfolgender, Instrumente hier besonders hervorzuheben erlaube.

Es seien mir nun noch einige Worte über die Entstehung und das Ziel der gegenwärtigen Untersuchungen selbst gestattet.

Trotz der mannigfachen Aufforderungen, die Zweckmässigkeit und Bequemlichkeit meines Astrophotometers durch die Anstellung von Massenbeobachtungen zu beweisen und einen Katalog von mehreren Tausend photometrisch bestimmter Sterne anzufertigen, habe ich mich doch aus verschiedenen Gründen nicht zur Ausführung einer solchen Arbeit verstehen können.

Bei Einführung einer neuen Methode in die Wissenschaft kommt es, nach meiner Meinung, vor allen Dingen darauf an, dass man durch zweckmässig angestellte Versuche zunächst die Zuverlässigkeit der Methode selbst ausser allen Zweifel stelle. Dies wird aber durch die erwähnten Massenbeobachtungen nicht erreicht, vielmehr setzt man sich hierbei der Gefahr aus, einen grossen Theil der aufgewandten Mühe und Arbeit als vergeblich betrachten zu müssen, falls sich nachträglich constante Fehlerquellen und individuelle Einflüsse bei der benutzten Methode herausstellen sollten.

Es giebt nun zwei Wege, sich von der Zuverlässigkeit einer Methode zu überzeugen. Man vergleicht entweder die durch sie erhaltenen Werthe mit den nach andern Methoden unter gleichen Umständen gefundenen Grössen, oder man richtet seine Beobachtungen so ein, dass man im Stande ist, die empirisch erlangten Werthe durch theoretisch abgeleitete controliren zu können.

Ich habe bei den vorliegenden Untersuchungen beide Wege eingeschlagen. Zunächst habe ich nachgewiesen, dass mit Hülfe der von SEIDEL aufgestellten Tabelle für die Absorption des Lichtes in der Atmosphäre alle meine Beobachtungen, sowohl die in der Nacht als auch am Tage angestellten, in überraschend befriedigender Weise auf das Zenith reducirt werden können. Da die Zenithdistanzen bei den angestellten Beobachtungen bis über 75° gehen und sich SEIDEL zur Anfertigung seiner Tabelle des STEINHEIL'schen Prismenphotometers bedient hat, so folgt aus der erwähnten Anwendbarkeit jener Tabelle, dass mein, auf dem Polarisationsgesetz basirtes, Astrophotometer für das Helligkeitsverhältniss zweier gleichfarbiger Lichtmengen durch-

schnittlich denselben Werth liefert, wie das STEINHEIL'sche Prismenphotometer.

Ebenso ist bei den Untersuchungen über die Lichtstärke der Mondphasen gezeigt worden, dass die hierfür von Sir JOHN HERSCHEL nach seiner »astrometrischen« Methode erlangten Werthe im Allgemeinen mit den meinigen übereinstimmen.

Ausserdem habe ich, bei der Bestimmung des mittleren Helligkeitsverhältnisses von Sonne und Vollmond, zwei verschiedene Beobachtungsmethoden angewandt, welche zwar beide auf dem Polarisationsprincipe beruhen, aber doch im Uebrigen ganz wesentlich von einander unterschieden sind. Auch hier lieferte die gefundene Uebereinstimmung der Resultate den Beweis von der Brauchbarkeit der benutzten Methode.

Zur theoretischen Controle der Zuverlässigkeit einer photometrischen Methode bieten die Lichtverhältnisse der einzelnen Körper des Planetensystems, wegen des Wechsels ihrer Entfernungen von Sonne und Erde, ein bei Weitem besseres Material, als die Intensitätsdifferenzen der Fixsterne.

Ich beschloss daher, jene Lichtverhältnisse näher festzustellen, und die befriedigende Art und Weise, mit welcher hierbei das Gesetz der Abnahme des Lichtes mit der Entfernung der Lichtquelle angewandt werden konnte, lieferte abermals den Beweis, dass die erlangten Werthe wirklich dem Intensitätsverhältniss der beobachteten Gestirne entsprechen.

Um auch die Gesetze der Beleuchtung zerstreut reflectirender Oberflächen hierbei verwerthen zu können, war ich genöthigt, auf die Arbeiten BOUGUER's und LAMBERT's etwas näher einzugehen. Die Resultate dieser Untersuchung habe ich in dem kritischen Theile entwickelt, welcher gleichzeitig dazu bestimmt ist, als Einleitung in die folgenden, theoretischen

Untersuchungen zu dienen; letztere sind als meine Habilitationsschrift bereits im März d. J. gedruckt, aber nicht besonders im Buchhandel erschienen.

Bouguer und Lambert sind als die eigentlichen Begründer der wissenschaftlichen Photometrie zu betrachten und ich konnte nicht umhin, bei der dargebotenen Gelegenheit, an die hohen Verdienste zu erinnern, welche sich jene Männer vor mehr als hundert Jahren um die Entwickelung und Pflege einer, seit jener Zeit fast gänzlich in Vergessenheit gekommener, Wissenschaft erworben haben.

Zur photometrischen Bestimmung so bedeutender Lichtunterschiede, wie sie uns die Sonne zu den Planeten darbietet, war die Construction zum Theil neuer Apparate erforderlich. Als Beweis, dass man die Lösung der hierdurch gegebenen Probleme als gelungen betrachten darf, sei hier nur bemerkt, dass ich mit Hülfe jener Instrumente das mittlere Helligkeitsverhältniss der Sonne zum Neptun mit einer wahrscheinlichen Unsicherheit von 5.5 Procent des erhaltenen Werthes bestimmt und gefunden habe, dass die mittlere Sonne c. 79.62 Billionen Mal heller als Neptun in mittlerer Opposition ist.

Im letzten Theile habe ich mit Berücksichtigung der neuesten Ergebnisse der Spectralanalyse und der von mir erlangten photometrischen Resultate versucht, die verschiedenen, ausser den Ortsveränderungen an den Himmelskörpern beobachteten Erscheinungen, lediglich als Consequenzen einer Hypothese darzustellen, welche für unser Planetensystem bereits die allgemeinste Verbreitung und Anerkennung gefunden hat. In wie weit mir dieser Versuch gelungen ist, muss ich dem nachsichtigen Urtheile meiner Leser anheimstellen.

Die astrophotometrische Methode jedoch glaube ich durch die hier veröffentlichten Untersuchungen so weit vervollkommnet zu haben, dass diese Gattung von Beobachtungen, mit Rücksicht auf ihre Bedeutung für die Fortentwickelung der Astronomie, in den Kreis der regelmässig und systematisch auszuführenden Arbeiten einer jeden Sternwarte aufgenommen werden kann.

Ob und wann dies geschieht, hängt von der Theilnahme und dem Interesse der Astronomen ab; indessen darf ich mich vielleicht im Hinblick auf die am Schlusse dieser Untersuchungen eröffneten Aussichten einer Hoffnung hingeben, welche Kant im fünften Kapitel seiner Naturgeschichte des Himmels mit folgenden Worten ausgesprochen hat:

> »Die Werkzeuge des Gesichts haben die Kenntnisse der äussersten Gegenden des Weltgebäudes dem Verstande eröffnet. Wenn es nun vornehmlich auf sie ankommt, neue Schritte darin zu thun, so kann man von der Aufmerksamkeit des Jahrhunderts auf alles Dasjenige, was die Einsichten der Menschen erweitern kann, wohl mit Wahrscheinlichkeit hoffen, dass sie sich vornehmlich auf eine Seite wenden werde, welche ihr die grösste Hoffnung zu wichtigen Entdeckungen darbietet.«

Leipzig, im Juli 1865.

Friedrich Zöllner.

Uebersicht des Inhalts.

II.

Theorie der relativen Lichtstärke der Mondphasen.

IV.

Ueber die physische Beschaffenheit der Himmelskörper.

Einleitung.

Unsere Kenntnisse von der physischen Beschaffenheit der Himmelskörper sind im Vergleich zu der hohen Ausbildung der Theorie ihrer Bewegungen noch in der ersten Entwickelung begriffen. Seit Kurzem hat das wissenschaftliche Interesse auch nach dieser Richtung hin einen mächtigen Aufschwung genommen. Die erst vor wenigen Jahren publicirten spectral-analytischen Untersuchungen KIRCHHOFF's und BUNSEN's eröffnen, wie von den Verfassern in einer ihrer Abhandlungen bemerkt wird[1]), »der chemischen Forschung ein bisher völlig verschlossenes Gebiet, das weit über die Grenzen der Erde, ja selbst unseres Sonnensystems hinausreicht.«

Dass die Tragweite und Bedeutung der in diesen Worten ausgesprochenen Behauptung bereits auch von astronomischer Seite her anerkannt und gewürdigt wird, beweisen sowohl die neuesten Untersuchungen SECCHI's über die Spectra der helleren Fixsterne[2]), als auch die überraschenden Resultate, welche erst kürzlich von W. HUGGINS und W. A. MILLER veröffentlicht wurden. (Phil. Transact. 1864. p. 413—444.)

Allein die Anwendbarkeit der spectral-analytischen Methode erstreckt sich vorzugsweise nur auf selbstleuchtende Gestirne, so dass hierdurch gerade für die uns zunächst liegenden Körper unseres Planetensystems, welche hauptsächlich mit reflectirtem Sonnenlichte glänzen, diese Untersuchungen weniger Erfolg zu versprechen scheinen.

---

1) POGGENDORFF's Annalen Bd. CX. p. 186 u. 187 (1860).
2) Astronomische Nachrichten No. 1504 (1863).

Will man daher bei diesen Körpern nicht auf wichtige Elemente zu einer genaueren Kenntniss ihrer physischen Beschaffenheit verzichten, so müssen hier nothwendig noch andere Untersuchungsmethoden in Anwendung gebracht werden.

Dass auch diese sich naturgemäss nur auf eine speciellere Untersuchung des von den Planeten reflectirten Lichtes mit Rücksicht auf die Lichtquelle stützen können, ist *a priori* einleuchtend, insofern, abgesehen von der Gravitation und den magnetischen Beziehungen zwischen Sonne, Mond und Erde[1]), das Licht das einzige, uns bis jetzt bekannte, Band ist, welches zwischen jenen Körpern und unserer Erde geknüpft ist.

Treffen die Strahlen einer beliebigen Lichtquelle auf irgend einen Körper, so wird ein Theil des Lichtes absorbirt und ein anderer reflectirt; das Verhältniss der reflectirten zur aufgefallenen Lichtmenge ist aber eine Grösse, welche wesentlich von der physischen Beschaffenheit des lichtreflectirenden Körpers abhängt, und daher für die Eigenschaften desselben characteristisch ist. Dieses Verhältniss zwischen den bezeichneten Lichtmengen ist für optische Strahlen von Lambert mit dem Namen »Albedo« belegt worden[2]) und man hat denselben, insoweit er sich auf die lichtreflectirenden Kräfte von Himmelskörpern bezieht, beibehalten.

Ein weisser resp. grauer Körper lässt sich demgemäss als ein solcher definiren, dessen Albedo für die optischen Strahlen verschiedener Brechbarkeit denselben Werth besitzt. Je nach der Grösse dieses Werthes nennen wir den Körper grau oder weiss. Dagegen ist ein farbiger Körper ein solcher, bei dem die Albedo eine Function der Brechbarkeit des auffallenden Lichtes ist.

Verallgemeinert man jedoch den Begriff der Albedo und dem entsprechend die Begriffe weiss und farbig, so kann man mit Berücksichtigung der drei verschiedenen Energien des Lichtes ausser von der optischen auch von der chemischen und thermischen Albedo eines Körpers reden. Alsdann würde ein absolut weisser oder grauer Körper ein solcher sein, bei dem sich die

---

1) Vergl. p. 210

2) Lambert, Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Augsburg 1760. §. 704 ff.

Unabhängigkeit der Albedo von der Wellenlänge des Lichtes nicht nur auf die optischen, sondern auch auf die chemischen und thermischen Strahlen erstreckte. Andrerseits könnte ein für optische Strahlen weisser Körper in dem hier erweiterten Sinne noch als ein farbiger bezeichnet werden, wenn die chemische und thermische Albedo nicht mit der optischen übereinstimmte.

Ob nun solche absolut weisse Körper in der Natur existiren oder nicht, darüber kann bei dem unzureichenden Beobachtungsmaterial bis jetzt kein entscheidendes Urtheil gefällt werden. Indessen darf es sowohl durch die Untersuchungen über strahlende Wärme als auch durch die Erfahrungen auf dem Gebiete der Photographie als eine Thatsache betrachtet werden, dass jedenfalls bei der bei weitem überwiegenden Mehrzahl der Körper das Reflexionsvermögen für verschiedene Strahlengattungen ein sehr verschiedenes ist und dass diese Verschiedenheit wesentlich mit der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der reflectirenden Oberfläche zusammenhängt.

Ist daher das Reflexionsvermögen für die chemischen, optischen und thermischen Strahlen bei einer grösseren Anzahl Körper von bekannter physischer Beschaffenheit durch Beobachtungen festgestellt worden, so wird man auch umgekehrt, aus der Uebereinstimmung dieser Grössen eines bekannten mit den analogen Grössen eines unbekannten Körpers, innerhalb gewisser Grenzen, auf die physische Beschaffenheit des letzteren zu schliessen berechtigt sein [1]).

In diesem Sinne hatte ich mir ursprünglich nur die Aufgabe gestellt, auf photometrischem Wege die optische Albedo des Mondes zu bestimmen, um hierdurch für's Erste zur Kenntniss der Farbe dieses uns nächsten Himmelskörpers zu gelangen.

Wie wenig Positives man bis jetzt über diese, scheinbar so leicht zu beantwortende, Frage weiss, geht am deutlichsten aus einer Abhandlung des um die Astrophotometrie so hoch verdienten Professor SEIDEL hervor, in welcher derselbe nach einer gelegentlichen Dis-

---

1) »*Effectuum naturalium ejusdem generis eaedem assignandae sunt causae, quatenus fieri potest.*« NEWTON, Philosophiae naturalis principia mathematica. Lib. III. Cap. I. Regula philosophandi II.

cussion aller über diese Frage vorhandenen, sehr spärlichen Beobachtungsdaten zu der wahrscheinlichen Ansicht gelangt, »dass der Mond in der Nähe weit eher schwarz als weiss aussehen müsse.«[1] Dagegen folgt aus meinen Beobachtungen in Uebereinstimmung mit den Resultaten J. HERSCHEL's und BOND's, dass die mittlere Farbe des Mondes etwa mit der des weissen Sandsteins oder Thonmergels übereinstimmt.

Ich war bei diesen Untersuchungen genöthigt, das Helligkeitsverhältniss von Sonne und Vollmond zu bestimmen.

Ueber den Werth dieser Constanten existiren bis jetzt nur drei Angaben[2], welche jedoch so stark von einander abweichen, dass man auch heut noch vollkommen den Worten SEIDELS beipflichten muss, wenn derselbe in seiner oben citirten Schrift (p. 90) behauptet, »dass wir über das Verhältniss der Helligkeit von Sonne und Vollmond nur etwa so viel wissen, dass jene Hunderttausende von Malen grösser ist als diese.«

Die Ursache einer so schlechten Uebereinstimmung kann nur in den angewandten Methoden gesucht werden und es musste daher zu einer erfolgreichen Beantwortung der gestellten Frage vor allen Dingen die Aufgabe gelöst werden, eine geeignete Beobachtungsmethode für die quantitative Bestimmung so grosser Lichtunterschiede zu ermitteln, wie sie uns durch das Helligkeitsverhältniss von Sonne und Mond dargeboten werden.

In meiner Photometrie des Himmels[3] habe ich im Allgemeinen die Umstände angedeutet, welche wahrscheinlich das Urtheil des Beobachters bei den oben angeführten Vergleichungen gefälscht haben und nachgewiesen, wie durch geringe Modificationen des von mir beschriebenen Photometers jene Uebelstände beseitigt werden können.

---

1) L. SEIDEL, Untersuchungen über die gegenseitigen Helligkeiten der Fixsterne erster Grösse etc. (München 1852) p. 104. — Abhandlungen der K. bayer. Akademie d. W. II. Cl. VI. Bd. III. Abth. p. 642.

2) BOUGUER findet im Jahre 1725 für dieses Verhältniss die Zahl 300000. Traité d'optique sur la gradation de la lumière. Ouv. posth. de Bouguer, publ. de M. l'Abbé de la Caille. Paris 1760. — WOLLASTON im Jahre 1799: 801072. Philosophical Transactions Vol. CXIX. p. 27. (1829). — BOND im Jahre 1860: 470980. Memoirs of the American Academy, New Series, Vol. VIII. p. 297.

3) Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels. p. 50. Berlin 1861.

Dem entsprechend beruht die bei meinen Untersuchungen angewandte Beobachtungsmethode im Wesentlichen auf der früher zu Helligkeitsmessungen von Fixsternen benutzten.

Um indessen die auf diese Weise erlangten Beobachtungen zu controliren und womöglich etwa vorhandene constante Fehler des Apparates zu eliminiren, habe ich ausser der angeführten noch eine andere Methode in Anwendung gebracht, deren Principien zuerst in einer vor acht Jahren von mir veröffentlichten Untersuchung auseinandergesetzt [1]) und dann später mit Erfolg bei meinen photometrischen Untersuchungen über galvanisch glühende Platindrähte angewandt worden sind. [2])

Beide Methoden sind mit den hier nothwendigen Modificationen und Verbesserungen an der betreffenden Stelle erörtert worden.

Nach Ueberwindung der experimentellen Schwierigkeiten stellte sich jedoch bald ein anderer Uebelstand ein, welcher die Zeit, innerhalb welcher man hoffen durfte, einen einigermassen zuverlässigen Werth zu erlangen, fast in's Unbestimmte hinauszuschieben drohte.

Da es sich nähmlich um das Helligkeitsverhältniss von Sonne und Vollmond handelte so war ich anfangs, um jede Reduction der Phase mit Hülfe hypothetischer Elemente zu vermeiden, stets bemüht, den Mond nur dann zu beobachten, wenn er sich in möglicht vollkommener Opposition mit der Sonne befand. Berücksichtigt man indessen, dass die Zeit des Vollmondes ebenso oft in Tagesstunden als in geeignete Nachtstunden fällt, und dass ausserdem in unserem Klima durch die Ungunst des Wetters sonst für die Beobachtung günstige Bedingungen sehr oft wieder beseitigt werden, so wird man es nicht auffallend finden, wenn es mir während eines Zeitraumes von fast drei Viertel Jahren nur ein Mal vergönnt war, den Mond in einer Elongation von 179° photometrisch zu beobachten. — Ich war also nothwendig darauf angewiesen auch die Lichtstärke einzelner Mondphasen zu bestimmen und mit Hülfe der Rechmung die Reduction auf den Vollmond zu bewerkstelligen.

Die Literatur über solche, rein theoretisch abgeleitete Reductionsformeln ist eine ziemlich umfangreiche, so dass es mir gelungen

1) POGGENDORFF's Annalen Bd. 100 p. 381 — 394.

2) Photometr. Untersuchungen über die Lichtentwickelung galvanisch glühender Platindrähte. Basel 1859.

ist, nicht weniger als acht solcher Formeln ausfindig zu machen, deren Urheber nebst den betreffenden Abhandlungen unten aufgeführt sind.[1])

Da alle diese Formeln meist zu ganz verschiedenen Resultaten führen, so darf man hieraus gewiss mit Recht auf eine grosse Unsicherheit der Principien schliessen, nach denen dieselben abgeleitet wurden.

Nichtsdestoweniger konnte mir die Wahl nicht schwer fallen, nachdem SEIDEL[1]) neuerdings die LAMBERT'sche Formel auf die Berechnung der Venusphasen angewandt hat. Ich hoffte daher auch beim Monde mit Hülfe jener Formel im Stande zu sein, die Helligkeit der einzelnen Phasen auf den Vollmond zu reduciren und so eine grössere Anzahl von Beobachtungen zur Bestimmung des gesuchten Helligkeitsverhältnisses verwerthen zu können.

Diese Erwartungen wurden indessen vollkommen getäuscht, indem schon die ersten Resultate so wesentliche Differenzen zwischen Rechnung und Beobachtung zeigten, dass ich von jedem weiteren Versuche, die gedachten Reductionen nach der LAMBERT'schen Formel zu bewerkstelligen, Abstand nehmen musste.

Indessen zeigten jene Abweichungen insofern eine gewisse Gesetzmässigkeit, als die für das Helligkeitsverhälltniss zweier Phasen durch Beobachtung gefundenen Werthe stets grösser als die berechneten ausfielen. Dieser Untèrschied stieg jedoch bei Vergleichung einer Phase in der Nähe der Quadraturen mit einer andern in der Nähe der Opposition auf mehr als das Dreifache der nach LAMBERT's Theorie berechneten Grösse; es musste also hierdurch jeder Versuch, die er-

1) KIES, Sur le plus gand éclat de Venus en supposant son orbite et celle de la terre elliptique. . . . Mém. de l'Acad. de Berlin, 1710. p. 223. — EULER, Réflexions sur les divers degrés de lumière du soleil et des autres corps célestes. Ibid. p, 298. — SMITH. Optik, übers. v. Kaestner. Altenburg 1755 p. 382 — 386. — BOUGUER. Traité d'optique, 1760. Livre II. Section IV. Art. IV. (zwei Formeln). — LAMBERT. Photometria. 1760. §. 1040 — 1060. — MICHELL. Philosophical Transactions 1829. Vol. CXIX. p. 20. Anmerk. (Citat v. Wollaston,) — J. HERSCHEL. Results of astromical observations made during the years 1834 — 1838 at the cape of good hope. London 1847 p. 359. Anmerk.

1) SEIDEL, Untersuchungen über die Lichtstärke der Planeten Venus, Mars, Jupiter und Saturn verglichen mit Sternen, und über die relative Weisse ihrer Oberflächen . . . . Abhandl. der Münch. Akademie. (Monumenta Saecluria) 1859.

wähnten Unterschiede aus constanten Fehlern der angewandten Methode zu erklären, ausgeschlossen werden.

Demnach blieb nichts Anderes übrig, als die Ursache jener so auffallenden Abweichungen in einer eigenthümlichen Beschaffenheit der Mondoberfläche zu suchen, so dass die Voraussetzungen, auf denen die Ableitung der LAMBERT'schen Formel beruht, bei diesem Himmelskörper durchaus nicht anwendbar sind. Sehr wesentlich bestärkt wurde ich in dieser Vermuthung durch die Vergleichung meiner Beobachtungen mit den astrometrischen Untersuchungen Sir J. HERSCHEL'S [1]), welche derselbe am Cap der guten Hoffnung lediglich zu relativen Helligkeitsbestimmungen an Fixsternen unternommen hatte. In dem hierbei von ihm angewandten »Astrometer« diente das, durch eine Linse sternartig verkleinerte, Mondbild als Vergleichsstern, dessen Intensität durch Variation des Abstandes vom Beobachter nach einem bekannten Gesetze geändert werden konnte. Obgleich nun im Allgemeinen von HERSCHEL an verschiedenen Abenden verschiedene Sterne photometrisch bestimmt wurden, so befanden sich unter diesen doch stets wenigstens einige, öfter aber sogar vier bis sechs Sterne, welche an verschiedenen Abenden zugleich beobachtet worden waren.

Auf diese Weise war es mir möglich, aus jenen Beobachtungen das relative Helligkeitsverhältniss einzelner Mondphasen, welche in den betreffenden Beobachtungsnächten als Vergleichssterne gedient hatten, nachträglich zu berechnen. Es ergaben sich hierbei im Allgemeinen ebenfalls starke Abweichungen [2]) von der LAMBERT'schen Theorie und zwar genau in demselben Sinne wie bei meinen Beobachtungen.

Was nun die Voraussetzungen betrifft, unter denen LAMBERT zu seiner Formel gelangt ist, so zeigt selbst eine nur oberflächliche Betrachtung, dass jene Voraussetzungen beim Monde nicht zutreffen können. Denn LAMBERT's Theorie erfordert die Annahme einer glatten aber zerstreut reflectirenden Kugeloberfläche, was bei der bekannten bergigen Beschaffenheit der Mondoberfläche und ihrer,

1) Results of astr. Observations etc. p. 357—361.

2) Vgl. SEIDEL, Untersuchungen über die gegenseitigen Helligkeiten der Fixsterne erster Grösse etc. p. 94.

wenn auch nur geringen, Abweichung von der Kugelgestalt[1]) jedenfalls als nicht gerechtfertigt erscheint. Dass dessen ungeachtet bis heut die Lichtstärke der einzelnen Mondphasen nur nach der theoretischen Behandlung LAMBERT's angegeben wurde, kann demnach weniger in der Unkenntniss, wenigstens des ersten Theils, jener falschen Voraussetzungen liegen, als vielmehr darin, dass man den Einfluss derselben, als zu unbedeutend, vernachlässigen zu können glaubte[2]).

Bei näherer Betrachtung der hervorgehobenen Anomalien in der Beschaffenheit der Mondoberfläche, zeigte sich mir, zunächst durch unmittelbare Anschauung, dass sowohl die Abweichung von der Kugelgestalt als auch die bergige Oberfläche, auf die Lichtstärke der Mondphasen einen Einfluss im Sinne der Beobachtungen äussern muss. Ueber die Grösse jenes Einflusses konnte natürlich nur eine genauere, theoretische Untersuchung entscheiden, deren Entwickelung und Resultate ich mir im zweiten Theile der vorliegenden Schrift mitzutheilen erlaube.

Es ergab sich hierbei zunächst, dass der Einfluss der, von der Kugelform abweichenden, Gestalt nur von den höheren Potenzen der Excentricität des angenommenen Ellipsoïdes abhängt und daher hier vollkommen vernachlässigt werden konnte.

Dagegen führte die Annahme von bergähnlichen Erhebungen auf der Mondoberfläche schliesslich zu einer sehr einfachen Formel, welche die Beobachtungen weit über meine Erwartungen gut darstellte.

Durch diesen Erfolg ermuthigt und von der Wichtigkeit photometrischer Beobachtungen der Phasen eines erleuchteten Himmelskörpers für die Ermittelung seiner physischen Beschaffenheit überzeugt, dehnte ich meine Untersuchungen auch auf die Planeten aus, wodurch die vorliegende Schrift einen ursprünglich nicht beabsichtigten Umfang erlangte.

1) Vgl. HANSEN's Brief an AIRY in d. Monthly Notices. 1854. Vol. XV. Nov. 10. und GUSSEW, Ueber die Gestalt des Mondes. Bullet. de l'Acad. de St. Petersbourg. 1859. T. I. p. 276—300.

2) BOND hat bei Gelegenheit seiner »photometric experiments upon the light of the Moon and of the Planet Jupiter«, Cambridge (America) 1861, auf analoge Abweichungen aufmerksam gemacht.

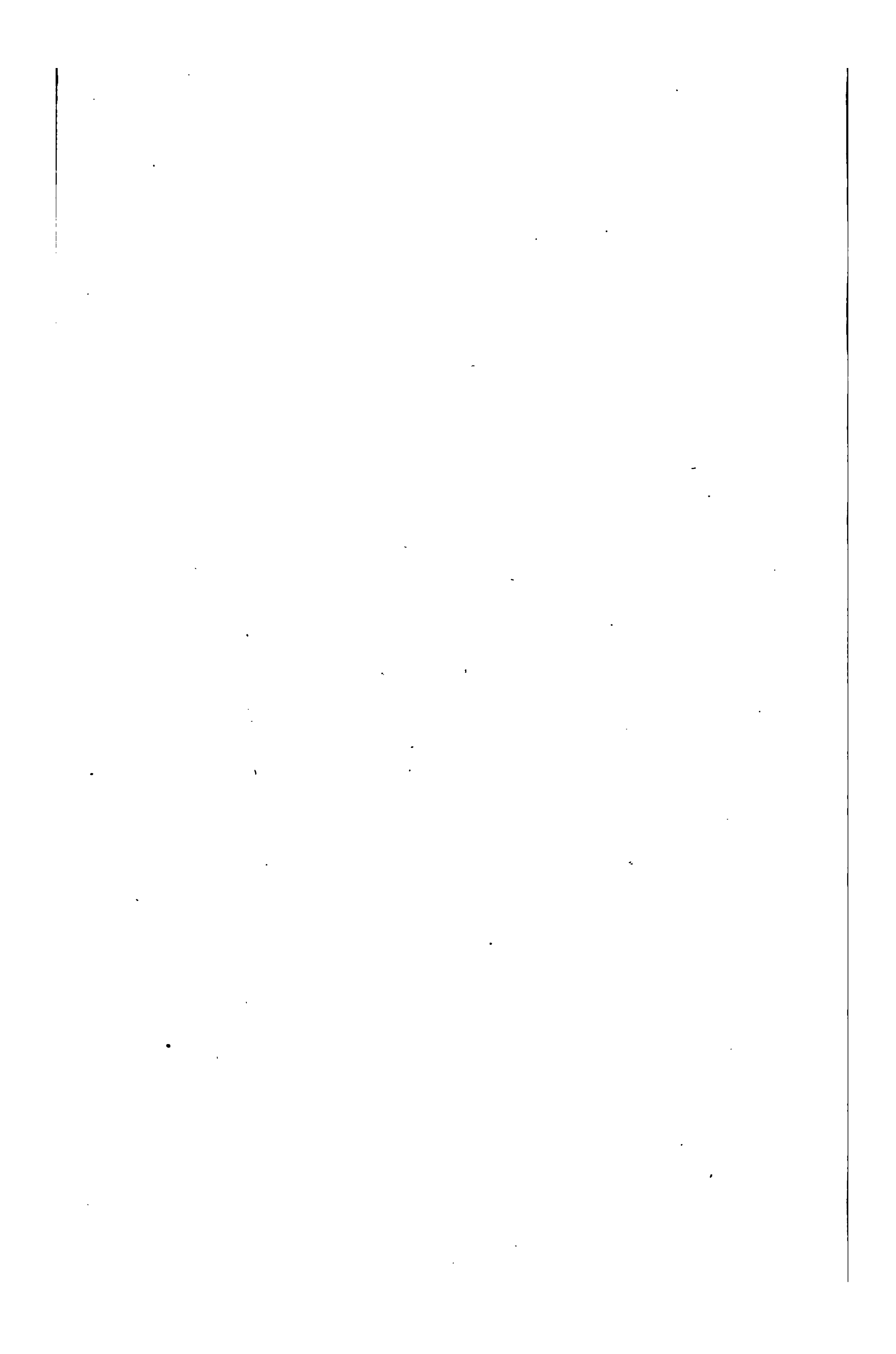
I.

VERGLEICHENDE KRITIK

VON

LAMBERT'S UND BOUGUER'S

PRINCIPIEN DER PHOTOMETRIE.



1.

Ist die bestimmte Quantität eines beliebigen Agens gegeben, von dem vorausgesetzt wird, dass seine Wirkung an einer beliebigen Stelle des Raumes proportional seiner Dichtigkeit sei, so ist die Wirkung an jener Stelle auch umgekehrt proportional der Ausbreitung des Agens im Raume, vorausgesetzt, dass letzterer selbst nicht absorbirend auf jenes Agens wirke.

Ohne weitere Annahmen als die in diesem Satze ausgesprochenen über die Natur des Lichtes zu machen, ergeben sich hieraus sofort die beiden Fundamentalgesetze über die Stärke der Beleuchtung eines Flächenelements im umgekehrten Verhältniss des Quadrates seiner Entfernung von der Lichtquelle[1]) und im geraden Verhältniss des Cosinus des Incidenzwinkels.

Das erste Gesetz ist nur ein anderer Ausdruck des allgemein aufgestellten Princips, indem man hierbei die Ausbreitung des Agens auf nur zwei Dimensionen zu beschränken hat.

Das zweite Gesetz ergiebt sich aus der Relation, welche zwischen der Grösse eines Flächenelementes zu seiner orthogonalen Projection besteht. — Denn fällt ein paralleles Strahlenbündel auf eine Ebene, deren Normale mit der Strahlenrichtung einen beliebigen Winkel einschliesst, so verhält sich die Grösse des durch jenes Strahlenbündel beleuchteten Flächenstückes zur Grösse desjenigen, welches bei senkrechter Incidenz von demselben Strahlenbündel beleuchtet wird, wie die Einheit zum Cosinus des Incidenzwinkels. Folglich stehen die auf gleiche Flächenstücke übergegangenen Lichtmengen

---

1) MAERKLIN. De intensitate lucis, disputatio physica §. VI. Tubingae 1754.

im umgekehrten Verhältniss jener Werthe oder es verhalten sich allgemein die Erleuchtungen eines Flächenelementes wie die Cosinus der Incidenzwinkel.

Nach dem an die Spitze unserer Betrachtungen gestellten allgemeinen Principe kommen hier die Begriffe der Quantität und Dichtigkeit zur Sprache. Ersterer bietet in seiner Anwendung auf das Licht durchaus keine Schwierigkeiten, indem hierbei nothwendig die Grösse der lichtentsendenden Fläche mit berücksichtigt ist. Hingegen bedarf der Begriff der Dichtigkeit des Lichtes einer näheren Erörterung, indem hierfür unter verschiedenen Umständen verschiedene Bezeichnungen gebraucht werden. — Lambert, der hierin zuerst die Nothwendigkeit einer genaueren Begriffsbestimmung anerkannte, giebt folgende Definitionen (Photometria §§. 36 u. 37):

> »Distinguenda utique est claritas luminis, quod objectum collustrat, a claritate objecti ab eo illuminati. Eatenus nempe lumini tribuemus *vim illuminantem* sive *splendorem*. Claritatem vero quam in objecta diffundit *illuminationem* vocabimus. — Porro distinguenda venit luminis claritas, quatenus videtur oculis, a claritate ejus, quatenus objecta collustrat. Illam dicemus *claritatem visam*, haec vero, si ad corpus luminosum referatur, erit *vis illuminans*, sin ad objectum *illuminatio* dicetur, quemadmodum jam innuimus.«

Alle diese Bezeichnungen haben das mit einander gemein, dass sie von der Grösse des lichtaussendenden Objectes absehen und nur ein Verhältniss zwischen den Lichtquantitäten gleicher Flächenstücke ausdrücken.

Ganz dasselbe thut aber auch der Begriff der Dichtigkeit, weshalb ich mich in Folgendem dieses Wortes überall dort bedienen werde, wo einer der oben von Lambert definirten Begriffe zur Anwendung kommt.

2.

Zu den angeführten beiden Gesetzen, welche, wie gezeigt wurde, eigentlich nur Specialfälle eines allgemeineren Princips sind, hat nun Lambert noch ein drittes Gesetz hinzugefügt, welches sich

auf selbstleuchtende oder als selbstleuchtend betrachtete Körper bezieht [1].

Analog dem angeführten Incidenzgesetze sollen auch hier die von einem leuchtenden Flächenelemente ausgesandten Lichtmengen proportional dem Cosinus des Emanationswinkels sein.

Es lässt sich jedoch leicht nachweisen, dass man auf ein hiervon gänzlich verschiedenes Gesetz geführt wird, sobald man seinen Betrachtungen die in der Optik allgemein gebräuchliche Vorstellung von der Beschaffenheit einer lichtausstrahlenden Oberfläche zu Grunde legt.

Diese Vorstellung beruht im Wesentlichen auf der Annahme, dass eine überall gleich stark leuchtende Fläche aus einem Complex gleichmässig über sie vertheilter leuchtender Puncte bestehe, von denen jeder nach allen Seiten hin gleich viel Licht entsendet. Es muss demnach für einen beliebigen dieser Puncte die Fläche, welche die Orte gleicher Intensität seiner sämmtlichen Strahlen enthält (*isodynamische Fläche*), nothwendig eine Kugelfläche sein.

Diese Vorstellung von der Beschaffenheit einer mit eigenem oder erborgtem Lichte leuchtenden Fläche involvirt, ebensowenig wie das am Eingange unserer Betrachtungen aufgestellte allgemeine Princip, besondere Annahmen über die Natur des Lichtes oder der lichtentsendenden Oberflächen, sondern betrachtet dasselbe lediglich als ein Agens von der oben angegebenen Beschaffenheit. — Man wird demgemäss auch nur solchen Sätzen gleiche Allgemeinheit mit den bereits oben gefundenen beiden Gesetzen zuerkennen dürfen, welche aus ebenso allgemeinen Voraussetzungen wie diese abgeleitet sind und nicht noch besonderer, rein empirisch festzustellender Thatsachen zu ihrem Beweise bedürfen.

3.

Es sei ab (Fig. 1, Taf. I) eine leuchtende Fläche, die wir uns in der angegebenen Weise aus leuchtenden Puncten constituirt denken. Ferner mögen sich in gleichen aber sehr grossen Entfernungen zwei gleich grosse, ebene Flächen cd und $c'd'$ befinden, welche

---

1) Photometria §. 81.

senkrecht zu ihrer Verbindungslinie mit der leuchtenden Fläche *ab* stehen.

Es soll das Verhältniss der Lichtmengen bestimmt werden, welche von *ab* auf *cd* und *c'd'* übergehen.

Man denke sich für jeden leuchtenden Punct der Fläche *ab* in dem Abstande von *cd* und *c'd'* die isodynamische Fläche construirt. Da diese Flächen nach dem Obigen sämmtlich Kugelflächen sind, so muss auch unter den hier gemachten Annahmen diejenige Fläche, welche alle jene Kugeln umhüllt, ebenfalls eine Kugelfläche sein. Betrachtet man daher die gleichgrossen ebenen Flächen *cd* und *c'd'* als Elemente dieser Umhüllungskugel, so folgt, dass auf beide Flächen von *ab* aus eine gleiche Lichtmenge übergeht.

Man erhält also den folgenden Satz:

Betrachtet man eine leuchtende Oberfläche als ein Aggregat von gleichmässig nach allen Seiten hin strahlenden Puncten, so ist die von einer ebenen Fläche ausgestrahlte Lichtmenge unabhängig vom Emanationswinkel.

Ersetzt man die Flächen *cd* und *c'd'* durch zwei Augen von gleicher Pupillenapertur, so wird dem Auge in *c'd'* die Fläche *ab*, proportional dem Cosinus des Emanationswinkels ε, perspectivisch verkürzt erscheinen.

Da sich aber in diesem Falle dieselbe Lichtmenge auf einer in dem gedachten Verhältnisse verkleinerten Fläche ausbreitet, so folgt, dass der Glanz (Dichtigkeit, *claritas visa*) des betreffenden Netzhautbildes jener Fläche, umgekehrt proportional dem Cosinus des Emanationswinkels wachsen muss.

Eine gleichförmig leuchtende Kugel müsste hiernach diesem Verhältniss gemäss an ihrem Rande stärker leuchtend als im Centrum erscheinen.

Wie man sieht, stehen diese Sätze in directem Widerspruch mit den von Lambert l. c. §. 81) hierüber mitgetheilten Sätzen. Letztere sind indessen neuerdings, auf Grund theils von Lambert, theils selbst gegebener Beweise, von Beer[1]) und Rheinauer als

1 Grundriss des phot. Calc. p. 6.

richtig angenommen und von SEIDEL bei seinen astrophotometrischen Untersuchungen practisch verwerthet worden.

Dagegen haben BOUGUER[1]), EULER[2]) und LAPLACE[3]) bei Behandlung entsprechender Probleme die oben von mir abgeleiteten Folgerungen als selbstverständlich ihren Betrachtungen zu Grunde gelegt[4]).

Es wird sich also jetzt darum handeln, zu untersuchen, worin die hier aufgedeckten Widersprüche in den ersten Principien des photometrischen Calcüles begründet sind und auf welche Weise die empirisch und theoretisch abgeleiteten Folgerungen sich vereinigen lassen.

4.

Zunächst muss hierbei hervorgehoben werden, dass die Betrachtung selbstleuchtender Oberflächen, z. B. glühender Platinplatten, so weit dies blosse Schätzungen der Leuchtkraft mit freiem Auge sind, vollkommen zu Gunsten des Lambert'schen Emissionsgesetzes sprechen.

In der That hat auch LAMBERT die Richtigkeit seines Gesetzes ursprünglich nur empirisch aus dem nach seiner Meinung über alle Zweifel erhabenen Factum abgeleitet, dass die Sonnenscheibe am Rande genau ebenso hell als in der Mitte sei. Er drückt sich hierüber bei Gelegenheit einer Kritik von EULER's oben citirter Abhandlung folgendermassen aus[5]):

---

1) Traité d'optique.

2) Mém. de l'Acad. de Berlin 1750, p. 223.

3) Mécanique céleste T. IV, Liv. X, Chap. III, §. 12.

4) SEIDEL und RECKNAGEL kritisiren diese Auffassung von EULER und LAPLACE und bemerken darüber Folgendes:

SEIDEL, Unters. über d. rel. Helligk. d. Fixsterne 1. Gr. p. 96 Anm.:

».... auffallender Weise ist auch LAPLACE, wie es scheint aus Unkenntniss von dem Hauptsatze der »Photometria«, in seiner gelegentlichen Untersuchung über die Sonnenatmosphäre in den von EULER zuvor begangenen Irrthum zurückverfallen.«

RECKNAGEL, Lambert's Photometrie etc. p. 3:

»Auch EULER ..... übersieht den Einfluss der schiefen Emission, indem er das Licht, welches von einer leuchtenden Fläche nach einem Puncte kommt, dem Inhalte eben dieser Fläche proportional setzt.«

5) Photometria §. 73.

»Ita enim, qua late oculis patet corporis solaris superficies helioscopio armatis, aeque sane eam claram videri, nemo est, qui temere negabit.«

Vom Standpuncte einer gewissenhaften, exacten Forschung muss es jedenfalls mehr als gewagt erscheinen, aus einer solchen vereinzelt und ohne jede eigentliche Messung gemachten Beobachtung ein Fundamentalgesetz deduciren zu wollen, zumal wenn, wie im vorliegenden Falle, diese Beobachtung an einem Körper geschieht, über dessen physikalische Beschaffenheit man zu den Zeiten LAMBERT's so gut wie gar nichts wusste. Erst in unsern Tagen sind durch die Untersuchungen KIRCHHOFF's und BUNSEN's gewisse feste Anhaltspunkte zu einer Theorie der physischen Constitution des Sonnenkörpers gewonnen worden, die auch ohne das Lambert'sche Emissionsgesetz für den glühenden Kern vorauszusetzen, lediglich durch die erwiesene Existenz einer lichtabsorbirenden Atmosphäre, zur Genüge jene annähernd gleiche Helligkeit der Sonnenscheibe erklären würden. — Aber auch ganz abgesehen hiervon wird jene von LAMBERT so zuversichtlich behauptete Thatsache noch in demselben Jahre widerlegt, in welchem seine »Photometria« erschien, und zwar durch sorgfältige Messungen BOUGUER's, die in dessen gleichzeitig von LA CAILLE herausgegebenem »Traité d'optique« mitgetheilt sind. Es wird hier dem fraglichen Puncte ein besonderer Artikel gewidmet, in dessen Anfang sich folgende Stelle findet[1]:

»Lorsqu'on regarde cet astre au travers d'une longue lunette, qui grossit beaucoup les objets, il faut y donner une grande attention pour remarquer quelque différence dans l'intensité de sa lumière. On voit comme une surface plate dont l'éclat est, pour ainsi dire, le même partout.«

Durch diese scheinbare Gleichheit der Helligkeit lässt sich indessen BOUGUER nicht verleiten, dieselbe wirklich für gleich anzunehmen. Mit Hülfe des von ihm erfundenen und in demselben Werke[2]) beschriebenen »Heliometers« stellt er Messungen an und spricht das Resultat derselben in folgenden Worten aus:

»Ainsi la lumière du soleil n'est pas la même sur toute la surface de son disque: si on compare le centre

1) Traité d'opt. Art. XII, p. 90—96.
2) Ibid. Sect. I, Art. VII.

et un endroit qui en soit éloigné des trois quarts du demi-diametre, les quantités de rayons, qu'on en reçoit sont dans le rapport de 48 à 35.«[1])

Man sieht also, dass es sich hierbei keineswegs etwa um so unbedeutende Unterschiede handelte, die den damaligen Hülfsmitteln entgehen konnten. Jedenfalls durften solche Differenzen, wie die mitgetheilten, bei Begründung eines allgemeinen Gesetzes nicht unberücksichtigt bleiben.

5.

Bouguer folgert nun aus seinen Beobachtungen nicht mehr, als strenge genommen aus ihnen gefolgert werden darf.

Nachdem er sich durch mehrfache Wiederholung seiner Beobachtungen von der Richtigkeit der durch sie festgestellten Thatsachen überzeugt hat, bemerkt er Folgendes[2]):

»Or il suit de-là, que non seulement chaque point lumineux, pris en particulier sur la surface de l'astre, ne jette pas à la ronde une égale quantité de lumière dans tous les sens, mais qu'il en jette moins selon les directions plus obliques.«

Ich führe diese Worte deshalb hier an, weil aus ihnen deutlich hervorgeht, dass Bouguer sich genau dieselben Vorstellungen über die Constitution einer selbstleuchtenden Oberfläche macht, wie diese oben ausführlich entwickelt worden sind. Er modificirt nur diese Vorstellungen den Beobachtungen entsprechend für die leuchtende Sonnenoberfläche dahin, dass die isodynamischen Flächen ihrer leuchtenden Puncte nicht als Kugelflächen angenommen werden können.

Ganz in Uebereinstimmung mit unsern früheren Resultaten schliesst er nun weiter:

»En effet, si chaque point lumineux jettait indistinctement dans toutes les directions une égale quantité de lumière, le disque deviendrait continuellement plus lumineux a une plus grande distance du centre, et il se terminerait par un cercle d'un éclat infini.«

---

1) l. c. p. 91. Diese Resultate wurden in neuester Zeit von Chacornac, Secchi u. A. bestätigt. (Vgl. Astr. Nachr. Nr. 1230.)

2) l. c. p. 92.

Da indessen dies Resultat zu sehr den Beobachtungen widerspricht, so adoptirt Bouguer für die Sonnenoberfläche die oben gemachte Hypothese über die Abnahme der Intensität des seitlich ausgesandten Lichtes und bemerkt gleichzeitig (p. 94 l. c.), dass bei einer vollkommen gleichen Helligkeit der Sonnenscheibe die Annahme einer dem Cosinus des Emissionswinkels proportionalen Abschwächung die beobachtete Gleichheit des Sonnenglanzes ganz befriedigend erklären würde.

Hieraus ist ersichtlich, dass auch Bouguer, und zwar ganz unabhängig von Lambert, das Cosinusgesetz der Emission zur Erklärung derselben Erscheinung anwendet, aus welcher Lambert die ganz allgemeine Gültigkeit jenes Gesetzes abstrahirt und demselben die Bedeutung eines Grundgesetzes beilegt.

Allerdings sucht Lambert die Richtigkeit des gedachten Gesetzes empirisch noch in anderer Weise zu erhärten. — Er erinnert zunächst an die bekannte Thatsache, dass eine weisse Mauer, welche von einem möglichst gleichförmig mit Wolken bedeckten Himmel beleuchtet wird, stets die gleiche Helligkeit (*claritas visa*) zu bewahren scheint, unter welchem Winkel man dieselbe auch betrachten möge.

Alsdann werden auch noch directe Versuche an beleuchteten Papierschirmen zum Beweise jenes Gesetzes mitgetheilt, welche indessen bei der Unvollkommenheit der angewandten Methode nur als rohe Annäherungen an jenes Gesetz betrachtet werden können, namentlich, wenn man die gleichzeitig von Bouguer über denselben Gegenstand angestellten sorgfältigen Beobachtungen berücksichtigt.

6.

Lambert ist indessen von der Strenge und Allgemeinheit seines Gesetzes, welches er als eine »*nova virium illuminantium lex*« bezeichnet[1], so sehr überzeugt, dass er nun auch versucht, dasselbe a priori aus der Natur des Lichtes zu beweisen.

Freilich legt Lambert selbst seinen theoretischen Beweisen auf diesem Gebiete keine allzugrosse Bedeutung bei, sondern betrachtet

1) Photometria §. 84.

sie nur als solche, »quibus ea quae experimenta docent, si non demonstrari, saltem captui accommodari calculoque quodammodo subjici poterunt.«[1])

Indessen dürfte jener Beweis nach dem heutigen Standpuncte der Wissenschaft auch dieser Anforderung nicht mehr genügen. Dessenungeachtet ist derselbe insofern von Interesse, als er gewissermassen den Ausgangspunct für die Fehlschlüsse derjenigen bildet, welche in Uebereinstimmung mit LAMBERT das Emanationsgesetz a priori, auf gleicher Basis mit den beiden Gesetzen der Ausbreitung des Lichtes, zu beweisen suchten.

Ich lasse hier zunächst den Lambert'schen Beweis folgen, wie derselbe in der »Photometria« §. 85 mitgetheilt ist:

»Sit AB (Fig. 2, Taf. I) superficies corporis luminosi, cujus quaevis particula lumen quaquaversum diffundat. Utcunque vero concipiamus luminis emanationem, concedendum erit, singulas corporis lucentis particulas esse in continua agitatione, ita ut particula C ab omnibus ipsi contiguis feriatur easque vicissim percutiat. Has vero in hemisphaerio circum eam esse sitas, vel per se est evidens, quum in superficie posita statuatur. Quare motum vel lumen in partem aversam diffundet per alterum haemisphaerium. Demonstrandum jam est, luminis quantitatem secundum CF emissum, esse ad lumen quod normaliter evibratur secundum directionem GC, ut sinus anguli emissionis FCB ad sinum totum. Quod ut fiat assumemus, vim, quae lumen secundum CF ejaculatur, deberi particulis in recta DC sitis. Sit haec vis $= CD$. Resolvatur in normalem DE et parallelam EC, haec ad emittendum lumen nil confert, quod ergo sola vi DE evibratur. Est vero DE ut sinus anguli emissionis, quare et in hac ratione vis ista decrescit. Quodsi ergo lumen emissum ceu effectum spectemus, huncque causae statuamus proportionalem, consequens erit, quantitatem luminis oblique emanantis esse in ratione sinus anguli, sub quo emanat.«[2])

---

1) Photometria §. 18.

2) Es bedarf kaum der Erwähnung, dass hier stets unter dem Emanationswinkel das Complement des jetzt allgemein und auch in dieser Schrift so bezeichneten Winkels verstanden ist.

Nachdem im folgenden Paragraphen noch darauf hingedeutet wird, dass man sich bei Zugrundlegung der Newton'schen Emanationshypothese einer ähnlichen Beweisführung bedienen könne, schliesst LAMBERT mit folgenden Worten:

»Ceterum nobis perinde erit, qualicunque ratione positio nostra demonstretur, quum sufficiat, eam ex observationibus esse deductam.« (!)

7.

Einen hiervon gänzlich verschiedenen Weg der Beweisführung versucht nun BEER in seinem 1854 erschienenen »Grundriss des photometrischen Calcüls« zu betreten. Die Veranlassung zur Herausgabe jener Schrift ist nach der Vorrede das Bestreben, »dem Physiker die Behandlung der wichtigsten Probleme der Photometrie in moderner Form und von allem Fremdartigen befreit bieten zu können.« Es ist demgemäss eine moderne Bearbeitung von LAMBERT's Photometrie, die jedoch, abgesehen von eigenen Beiträgen und Zusätzen, vorzugsweise das grosse Verdienst hat, in unseren Tagen zum ersten Male wieder auf einen interessanten Theil der mathematisch-physikalischen Disciplinen aufmerksam gemacht zu haben, welcher ein volles Jahrhundert in derselben Entwickelungsphase stehen geblieben war, in welcher ihn seine Begründer der Nachwelt hinterlassen hatten.

Bei Ableitung der photometrischen Principien versucht nun der Verfasser gedachter Schrift in unmittelbarem Anschluss an die Beweise für die Gesetze der Ausbreitung[1]) des Lichtes, die Richtigkeit auch des Emissionsgesetzes zu demonstriren.

Ich will nun zeigen, dass dieser Versuch nicht nur als ein gänzlich missglückter zu betrachten ist, sondern dass sich sogar auf dem von BEER dabei eingeschlagenen Wege die oben in Uebereinstimmung mit BOUGUER, EULER und LAPLACE behauptete Constanz der Quantität des unter verschiedenen Winkeln ausgestrahlten Lichtes mit logischer Nothwendigkeit ergeben muss.

Es sei P (Fig. 3, Taf. I) ein leuchtender Punct, der nach allen Seiten hin gleich viel Licht entsende, so dass bei der Fortpflanzung selber (durch Absorption) kein Theil desselben verloren geht. K' sei

1) Entfernungs- und Incidenzgesetz.

eine Kugelschale, welche mit dem Abstande des Flächenelementes ε' um P beschrieben ist.

Nachdem nun BEER in der bekannten Weise das Gesetz der Abnahme des Lichtes mit der Entfernung vom leuchtenden Puncte bewiesen hat (l. c. p. 4 u. 5), geht er zum Beweise des Incidenz- und Emissionsgesetzes über und verfährt hierbei wörtlich wie folgt.[1])

Incidenzgesetz.

»Aus der soeben geltend gemachten Annahme von der Erhaltung der Lichtquantität folgt, dass das Element ε'', welches ebensoweit von P entfernt ist wie ε', und welches von einem Kegel umschrieben wird, dessen Spitze P und dessen Directrix der Umfang von ε' ist, von derselben Lichtquantität getroffen wird wie das Element ε'. Bezeichnen wir diese mit $\varkappa$, so ist also die Quantität, welche auf einen dem Elemente ε' gleichen Theil von ε'' trifft, $\varkappa \,.\, \frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}$. Das Verhältniss $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}$ ist aber dem Cosinus des Neigungswinkels α beider Elemente, oder dem Cosinus des Winkels gleich, unter welchem die von P ausgehende Strahlung auf das Element ε'' trifft. Drehen wir also das Element ε', bis es mit ε'' zusammenfällt, so wird es von der Quantität $\varkappa \,.\, \cos \alpha$ getroffen. Die von einem Puncte auf ein Element ausgestrahlte Lichtquantität ist somit dem Cosinus des Incidenzwinkels proportional.

Emanationsgesetz.

»Denken wir uns, dass das Element ε'' selbstleuchtend werde, und nehmen wir an, was wahrscheinlich ist, dass die Fortpflanzung des Lichtes von den einzelnen Puncten von ε'' nach P hin in gleicher Weise wie die Fortpflanzung von P nach den einzelnen Puncten von ε'' hin stattfinde, so ist die nächste Folge dieser Annahme die, dass der Punkt P von dem Elemente ε'' dieselbe Lichtquantität empfängt, welche er von ε' empfangen würde, **wenn dieses Element mit derselben Energie wie ε'' Licht entwickeln würde.** Unter

1) Phot. Calc. p. 5 und 6.

$\varkappa$ diese Quantität verstanden, ist also $\varkappa \cdot \cos \alpha$ die Quantität Lichtes, welche der Punct P von einem dem Elemente ε' gleichen Theile von ε'' erlangt. Der Winkel α, welchen die beiden Elemente einschliessen, ist aber auch der Winkel, unter welchem das Licht von ε'' ausströmt. Das von einem leuchtenden Elemente nach einem Puncte hin ausströmende Licht ist somit dem Cosinus des Emanationswinkels proportional.«

Man erkennt nun ohne Mühe, dass die in den mit fetter Schrift gedruckten Worten enthaltene Bedingung eine auf der Hand liegende Petitio principii involvirt.

Denn bei der Ableitung des Incidenzgesetzes wurde gezeigt, dass das Element ε' eine im Verhältniss des Cosinus des Incidenzwinkels zur Einheit stärkere Beleuchtung als das Element ε'' erhielt. Sollen also bei der hier vorgenommenen Umkehrung beide Elemente unter der Voraussetzung des Selbstleuchtens trotz ihrer verschiedenen Neigung eine gleiche Quantität Licht nach P senden (gerade so wie sie vorher, als P leuchtend war, in derselben Lage eine gleiche Quantität Licht von P empfingen), so müssen ihnen auch nothwendig »Energien des Leuchtens« (*vires illuminantes*) ertheilt werden, welche in demselben Verhältnisse stehen, wie vorher ihre Erleuchtungen.

Indem dies Beer gänzlich übersieht und beiden Elementen eine gleiche Leuchtkraft zuertheilt, wird er mit Hülfe der hier aufgedeckten Petitio principii zum Lambert'schen Emissionsgesetz geführt. — Vermeidet man hingegen jenen Trugschluss, so gelangt man, wie sich unmittelbar aus der angestellten Betrachtung ergiebt, nothwendig zu dem Satze, dass die von einem leuchtenden Elemente ausgestrahlte Lichtmenge unabhängig vom Emanationswinkel ist. Hieraus folgt, dass dieser Satz eine nothwendige Folge derjenigen Prämissen ist, aus denen das Incidenzgesetz abgeleitet wird, und mithin jeder Versuch, aus denselben Prämissen das Lambert'sche Emissionsgesetz zu beweisen, nothwendig auf Widersprüche führen muss.

Es sei schliesslich, mehr der Vollständigkeit als der wissenschaftlichen Bedeutung wegen, noch eines dritten Beweises für das Lambert'sche Gesetz gedacht, welcher in einer erst kürzlich erschie-

nenen Schrift von RHEINAUER enthalten ist[1]. Dieser Beweis besteht eigentlich aus zwei Theilen: im ersten wird der soeben widerlegte BEER'sche Beweis ganz unvollständig wiederholt und alsdann im zweiten, »um den Grund hiervon einzusehen«, LAMBERT's theoretischer Beweis in corrumpirter Gestalt hinzugefügt.

8.

Aus dem bisher Mitgetheilten wird zur Genüge ersichtlich sein, dass jenes fragliche Gesetz, welches annähernd durch die Beobachtung bestätigt wird, mit unsern Vorstellungen über die Constitution einer selbstleuchtenden oder zerstreut reflectirenden Oberfläche theoretisch schlechterdings unvereinbar ist. Es wird sich also darum handeln, diese Vorstellungen den Beobachtungen entsprechend zu modificiren und demgemäss zu untersuchen, wie man sich bei einem leuchtenden Körper die Anordnung der nach allen Seiten hin gleichmässig Licht ausstrahlenden Elemente zu denken habe, wenn dem Lambert'schen Emissionsgesetze genügt werden soll.

Bei dieser Untersuchung wird es von Nutzen sein, auf die dem Lichte so nahe verwandten Erscheinungen der strahlenden Wärme etwas näher einzugehen. Die Phänomene auf diesem Gebiete haben sowohl in theoretischer als auch experimenteller Beziehung durch die Arbeiten eines FOURIER[2], POISSON[3] und MELLONI[4] eine bei Weitem tiefer gehende Behandlung als die oben erwähnten Erscheinungen des Lichtes erfahren.

Auch hier verlangen nun die Beobachtungen bezüglich der Wärmeausstrahlung von einer erhitzten Oberfläche die Annahme, dass die Intensität dieser Strahlung proportional dem Cosinus des Emanationswinkels sich ändere.

Indessen giebt auch bereits FOURIER eine vollkommen genügende theoretische Erklärung dieses Gesetzes und setzt die hierbei über

---

1) Grundzüge der Photometrie, bearbeitet von Dr. J. RHEINAUER (p. 2 u. 3). Halle 1862.

2) FOURIER. Théorie analytique de la Chaleur. Paris 1822.

3) POISSON. Théorie mathématique de la Chaleur. Ib. 1835.

4) MELLONI. La thermochrose ou la coloration calorifique. Naples 1850.

die Anordnung der strahlenden Molecüle gemachte Hypothese in folgender Weise auseinander (l. c. §. 46) [1]:

»Ainsi la chaleur qui sort dans toutes les directions d'une partie d'une surface solide pénètre dans l'air jusqu'à des points fort éloignés; mais elle n'est émise que par les molécules du corps, qui sont extrêmement voisines de la surface. Un point d'une masse échauffée, placé à une très-petite distance de la superficie plane qui sépare la masse de l'espace extérieur, envoie à cet espace une infinité de rayons; mais ils n'y parviennent pas entièrement; ils sont diminués de toute la quantité de chaleur qui s'arrête sur les molécules solides intermédiaires.

La partie du rayon qui se dissipe dans l'espace est d'autant moindre, qu'elle traverse un plus long intervalle dans la masse. Ainsi le rayon qui sort perpendiculairement à la superficie a plus d'intensité que celui qui, partant du même point, suit une direction oblique, et les rayons les plus obliques sont entièrement interceptés.

La même conséquence s'applique à tous les points qui sont assez voisins de la superficie pour concourir à l'émission de la chaleur, il en résulte nécessairement que la quantité totale de chaleur qui sort de la surface sous la direction perpendiculaire est beaucoup plus grande que celle dont la direction est oblique.

Nous avons soumis cette question au calcul, et l'analyse que nous en avons faite démontre que l'intensité du rayon est proportionnelle au sinus de l'angle que ce rayon fait avec l'élément de la surface. Les expériences avaient déja indiqué un résultat semblable.«

Wie man sieht, beruht das Wesentliche der vorstehenden Erklärung in der Annahme, dass bei der Wärmeausstrahlung eines Körpers nicht nur die in der Oberfläche gelegenen Molecüle, sondern auch bis zu einer gewissen Tiefe hinein die unter der Oberfläche gelegenen Theilchen mitwirken.

Was nun die experimentelle Bestätigung jenes Gesetzes betrifft, so bemerkt Fourier über diesen Punct (l. c. §. 16):

---

1) Fourier leitet diesen Satz auch noch aus dem allgemeinen Principe des thermischen Gleichgewichtes (»l'équilibre de la chaleur«) ab. Annales de Chim. et Phys. 1817. T. IV, p. 128.

»Il résulte des observations de plusieurs physiciens et de nos propres expériences, que l'intensité des différents rayons, qui sortent dans tous les sens de chaque point de la superficie d'un corps échauffé, dépend de l'angle que fait leur direction avec la surface dans ce même point. Nous avons démontré, que l'intensité de chaque rayon est d'autant moindre, qu'il fait avec l'élément de la surface un plus petit angle et qu'elle est proportionelle au sinus de cet angle.«

Dessenungeachtet habe ich mich vergeblich bemüht, in der Literatur Specialuntersuchungen über jenes Gesetz aufzufinden, namentlich darüber, innerhalb welcher Grenzen dasselbe gültig ist.

Ueberträgt man nun diese Fourier'sche Hypothese auch auf die Lichtemission selbstleuchtender Oberflächen, so lässt sich jetzt das Lambert'sche Gesetz geometrisch einfach auf folgende Weise ableiten.

Es sei AB (Fig. 4, Taf. I.) die Oberfläche eines leuchtenden Körpers und ab die Länge eines kleinen, rechtwinkligen Flächenstückes derselben. Die Tiefe, von welcher aus noch Strahlen aus dem Körper in's Auge dringen können, sei $bc = ad$, so dass ein senkrecht von dem betrachteten Flächenstück ausgehendes paralleles Strahlenbündel seine Lichtmengen allen den leuchtenden Molecülen verdankt, welche in dem Raume $adcb$ enthalten sind.[1])

Bei einem Strahle, der seitlich unter dem Winkel ε ausgesandt wird, ist aber jener Raum kleiner, da die Tiefe, aus welcher noch Strahlen ausgehen, nach jeder Richtung hin als gleich vorausgesetzt werden muss, so dass

$$bc' = bc = ad' = ad.$$

Betrachtet man nun die Anzahl der in einem solchen parallelepipedischen Raume enthaltenen Molecüle als sehr gross, so muss sich diese Zahl, und folglich auch die ihr proportionale Lichtmenge,

---

1) Eigentlich muss nach der aufgestellten Hypothese die Lichtmenge, welche die in einer Schicht gelegenen Molecüle aussenden, eine Function der Tiefe jener Schicht sein. Indessen kann man jederzeit, und zwar unabhängig von der Beschaffenheit jener Function, eine für alle Schichten gleiche Emission substituiren, wenn in entsprechender Weise die Tiefe modificirt wird. Die folgende Ableitung setzt bereits diese Substitution voraus. Vergl. Fourier. Ann. de chim. et phys. Tome VI. p 264.

im Verhältniss der Grösse der sie einschliessenden Räume ändern. Ein Blick auf die Figur zeigt nun, dass sich der Raum *abcd* zu dem von *abc'd'* wie die Einheit zum Cosinus des Emanationswinkels ε verhält; folglich ist auch die Lichtmenge, welche von dem kleinen Flächenstück *ab* bei verschiedenen Winkeln ausgesandt wird, proportional dem Cosinus des Emanationswinkels, was zu beweisen war.

Es knüpft sich also, wie man sieht, an den empirischen Nachweis dieses Gesetzes wesentlich ein theoretisch-physikalisches Interesse und es wäre von diesem Gesichtspuncte aus in hohem Grade wünschenswerth, die seitliche Emission von Wärme- und Lichtstrahlen einer genaueren Untersuchung und Prüfung zu unterwerfen, als dies bis jetzt geschehen ist.

Aus den bis heut über diese Puncte vorliegenden Beobachtungen lässt sich nur so viel mit Bestimmtheit folgern, dass die Intensität der von einer leuchtenden Oberfläche ausgesandten Strahlen eine Function des Emanationswinkels φ ist, welche für $\varphi = o$ ein Maximum erreicht und für $\varphi = \frac{\pi}{2}$ verschwindet.

Indessen kann mit Berücksichtigung des Vorhergehenden bereits hieraus die Thatsache abgeleitet werden, dass die Strahlung bei einem leuchtenden Körper nothwendig aus einer gewissen Tiefe dringen muss, eine Thatsache, zu welcher bekanntlich Arago auf einem ganz andern Wege gelangte, indem er zeigte, dass das von glühenden Metallflächen unter einem sehr grossen Emanationswinkel ausgesandte Licht zum Theil elliptisch polarisirt sei.

9.

Wir haben uns bisher vorzugsweise nur mit der Prüfung des Emanationsgesetzes für selbstleuchtende resp. glühende Oberflächen beschäftigt. Es wurde jedoch schon oben (p. 10) erwähnt, dass Lambert dieses Gesetz unmittelbar auch auf solche Flächen überträgt, welche zu den sogenannten »zerstreut reflectirenden« gehören. Man kann diese Art von Oberflächen einfach als solche definiren, welche das unter einem beliebigen Winkel auf sie fallende Licht dergestalt reflectiren, dass die Intensität des reflectirten Lichtes nur eine Function des Emanationswinkels und nicht zugleich des Azimuths ist, wie bei spiegelnden Flächen.

Es beruhen nun die practischen Anwendungen des LAMBERT-schen Calcüles, z. B. auf die Lichtverhältnisse der Körper unseres Planetensystems, im Wesentlichen in einer eigenthümlichen Transformation der Formeln, welche sich auf die Zulässigkeit jener Uebertragung des Emanationsgesetzes auf Oberflächen von der angegebenen Beschaffenheit stützt. Es handelt sich jetzt darum, näher zu untersuchen, in wie weit diese Uebertragung empirisch begründet ist.

Die dioptrischen Versuche, welche LAMBERT hierüber angestellt und in seiner Photometrie beschrieben hat[1]), können der Unvollkommenheit der angewandten Methode wegen hier nicht als Beweise für die Richtigkeit jenes Gesetzes betrachtet werden, um so weniger, als gerade für diesen Fall eigentliche Messungen nur ganz vereinzelt und unvollständig mitgetheilt sind.

Ohne Vergleich gründlicher und gewissenhafter geht auch hier wiederum BOUGUER zu Werke, indem er eine ganze Reihe sehr zweckmässig angestellter Beobachtungen mittheilt, die sich nicht nur auf zerstreut reflectirende Oberflächen eines Stoffes (wie bei LAMBERT auf Papier), sondern auf eine grössere Anzahl verschiedener Stoffe beziehen.

Allerdings stellt BOUGUER seine Beobachtungen zu einem ganz andern Zwecke als LAMBERT an; indessen hätte dieser Zweck weit weniger eine so umfangreiche Untersuchung erheischt, als das Bestreben LAMBERT's, die Richtigkeit eines von ihm allgemein angenommenen Fundamentalgesetzes empirisch zu begründen.

BOUGUER wird zu den genannten Untersuchungen durch eine besondere Vorstellung veranlasst, welche er sich von der physikalischen Beschaffenheit einer zerstreut reflectirenden Oberfläche macht. Er führt nämlich das ganze Phänomen der zerstreuten Reflexion auf das der Spiegelung zurück, indem er sich die Oberfläche eines solchen Körpers aus einer Menge von kleinen, spiegelnden Flächen bestehend denkt, die unter allen möglichen Winkeln gegen die Oberfläche des Körpers geneigt sind.

Die Worte BOUGUER's über diesen Punct lauten folgendermassen:

»Ces derniers surfaces (mattes ou bruttes) ont une infinité de petites rugosités ou asperités, qui en présentant plusieurs de leurs

---

1) Photometria §. 530—537. — Vergl. BEER, phot. Calc. p. 82—85.

petites faces vers tous les côtés, reflêchissent la lumière selon toutes les directions. Les rayons, qui sont perdus pour un spectateur, servent a un autre, à celui qui est placé dans un autre endroit; et il. n'est pas impossible que l'intensité de la lumière, ou la vivacité de la couleur de la surface, ne leur paraisse à l'un et à l'autre absolument la même.«[1])

Wird eine solche Oberfläche unter einem bestimmten Winkel beleuchtet und aus derselben Richtung betrachtet, so wird die Intensität des in's Auge gelangenden Lichtes im Allgemeinen proportional sein der Anzahl jener kleinen spiegelnden Flächen, welche zur Beleuchtungs- oder Sehrichtung senkrecht stehen. Auf diese Weise Lage und Zahl jener kleinen Flächen bei verschiedenen Körpern näher zu bestimmen, ist der eigentliche Zweck der von Bouguer angestellten Beobachtungen.

10.

Die Anordnung dieser Versuche ist im Wesentlichen folgende.

Einer in L (Fig. 5, Taf. I.) befindlichen Lichtquelle werden in A und B zwei ebene Flächen von dem zu untersuchenden Stoffe in hinreichender Entfernung gegenüber gestellt, so dass B senkrecht zu LB, und A unter einem beliebigen Winkel gegen LA geneigt ist. Beobachtet man nun möglichst nahe aus derselben Lage mit L die Helligkeit oder den Glanz (Dichtigkeit, *claritas visa*) der beiden Flächen A und B, so wird derselbe für A im Allgemeinen mit wachsendem Winkel, welchen die Normale NA mit AL macht, abnehmen. Indem man nun die Entfernung der zu LB stets normalen Fläche B so lange verändert, bis beide Flächen dem in L befindlichen Auge gleich hell erscheinen, so erhält man aus dem gemessenen Abstande der Fläche B ein Mass für die Aenderungen der Helligkeit von A bei verschiedener Grösse des Winkels NAL.

Wie man sieht, sind bei dieser einfachen Anordnung des Experimentes die Aenderungen der Lichtquelle vollkommen eliminirt. Zugleich bemerkt man, dass hier der Incidenz- und Emanationswinkel stets einander gleich sind, so dass durch diese Versuche das Incidenz- und Emanations-Gesetz gleichzeitig controlirt werden.

---

1) Traité d'optique, p. 161.

Sollten hierbei die Beobachtungen eine beträchtliche Abweichung von den durch LAMBERT's Principien geforderten Beziehungen ergeben, so wird man die Ursachen dieser Abweichung nicht nur der Unrichtigkeit des einen der beiden Gesetze zuschreiben wollen, sondern es für wahrscheinlicher halten müssen, dass im Allgemeinen beide Gesetze nicht mit der Erfahrung übereinstimmen. Denn obgleich sich das Incidenzgesetz, wie oben (p. 4) gezeigt, ganz allgemein aus dem Gesetze der Ausbreitung eines beliebigen Agens ableiten lässt, so involvirt doch die Anwendung desselben auf zerstreut reflectirende Oberflächen, in Bezug auf deren physikalische Beschaffenheit, eine Menge von hypothetischen Elementen, über deren Zulässigkeit endgültig nur die Erfahrung entscheiden kann.

Wir haben oben bei der Discussion des Emanationsgesetzes gesehen, dass nach demselben der Glanz oder die Helligkeit einer leuchtenden Oberfläche unabhängig vom Emanationswinkel ist. Da nun im vorliegenden Falle die Fläche A nach Lambert als selbstleuchtende betrachtet werden kann, so wird sie dem in L befindlichen Auge mit demjenigen Glanze (Dichtigkeit, *claritas visa*) erscheinen, welcher ihr nach Massgabe des Abstandes von L und ihrer Neigung gegen die auffallenden Strahlen ertheilt wird. Indem aber hier nur die letztere als variabel vorausgesetzt wird, muss der Glanz der Fläche A sich für ein Auge in L proportional dem Cosinus des Incidenzwinkels NAL ändern.

11.

In der angegebenen Weise hat nun BOUGUER die zerstreut reflectirenden Oberflächen einer grösseren Anzahl von Körpern untersucht, von denen er jedoch nur die Beobachtungen an mattem Silber [1]), Gyps und holländischem Papier mittheilt. Indem die bei senkrechter Incidenz reflectirte Lichtmenge gleich 1000 gesetzt wird, erhielt er für die Helligkeiten bei andern Incidenzwinkeln bestimmte Zahlen, welche im Allgemeinen von der Natur des Körpers abhingen.

Ich lasse hier die Beobachtungen BOUGUER's, wie derselbe sie a. a. O. p. 165 mitgetheilt hat, folgen und habe zur Beurtheilung die Cosinus der entsprechenden Incidenzwinkel beigesetzt, mit wel-

1) ». . . . platines d'argent que M. Germain, Orfèvre du Roi, avait fait matter avec la plus extrême délicatesse et blanchir ensuite dans de l'eau seconde. Leur blancheur surpassait de beaucoup celle du plus beau papier.« (Traité d'opt. p. 163.)

zerstreut reflectirende Oberfläche eines Körpers zu denken habe, bei dem das Incidenz- und Emanationsgesetz in aller Strenge anwendbar wäre.

Dieselbe Betrachtung, welche oben zu der Annahme führte, dass die von einer glühenden Oberfläche ausgesandten Strahlen aus einer gewissen Tiefe des Körpers dringen, lässt sich auch, *mutatis mutandis,* auf das Eindringen der Strahlen in die oberen Schichten[1]) eines Körpers übertragen, und diese Annahme reicht alsdann, (wie mit Hülfe der oben (p. 17) gegebenen Ableitung leicht ersichtlich ist), vollkommen zur Erklärung der von LAMBERT für zerstreut reflectirende Oberflächen allgemein angewandten Principien aus.

Nach den mitgetheilten Beobachtungen BOUGUER's — und es sind dies meines Wissens die einzig brauchbaren, welche bis jetzt vorliegen, — findet jedoch selbst bei Körpern wie Gyps und Papier, welche man doch gewöhnlich als sehr vollkommen zerstreut reflectirende Körper betrachtet, eine so bedeutende Abweichung von jenen Gesetzen statt, dass man mit Recht fragen kann, ob es denn überhaupt Körper giebt, von denen man gemäss ihrer Beschaffenheit *a priori* eine Uebereinstimmung mit den erwähnten Principien erwarten könne.

Als einen solchen Körper glaube ich nun das allgemein zu Lampenschirmen angewandte, sogenannte Milchglas bezeichnen zu dürfen, vorausgesetzt, dass man von dem durch Spiegelung an seiner Oberfläche reflectirten Lichte absieht. Dieses Glas wird bekanntlich dadurch bereitet, dass man dem Glassatze eine gewisse Quantität fein gemahlenes Knochenmehl beimischt, so dass nun die in der Masse gleichmässig vertheilten Partikelchen von phosphorsaurem Kalk das Licht nach allen Seiten hin zerstreuen. — Bei diesem Körper sind also gewissermassen künstlich die oben theoretisch geforten Bedingungen realisirt; denn das Licht dringt sowohl bei der

---

1) Dass das Licht wirklich bis zu einer gewissen Tiefe in alle Körper, selbst die undurchsichtigsten, eindringt, beweist die farbige Durchsichtigkeit dünner Metallblättchen. Es scheint nun aber auch direct durch die neuesten Arbeiten von QUINCKE erwiesen zu sein, dass ebenso das eingedrungene Licht wieder aus dem Innern zurückreflectirt wird. Aus den Messungen QUINCKE's geht hervor, »dass das Licht bis zu einer Tiefe, die ebenso gross oder wenig kleiner als eine Wellenlänge ist, in das Metall eindringt.« Vgl. Pogg. Ann. Bd. CXIX. p. 378.

Emanation aus einer gewissen Tiefe heraus als auch bei der Incidenz in eine solche hinein.

Von der angenäherten Richtigkeit des Emanationsgesetzes bei diesem Glase kann man sich, so weit dies ohne Messungen möglich ist, jeden Abend beim Scheine der Lampe überzeugen. Denn jeder halbkugelförmig über der Flamme gewölbte Schirm aus Milchglas zeigt in der Mitte und an den Rändern merklich dieselbe Helligkeit, und in der That erfüllt ein solcher, von innen gleichmässig erleuchteter, Schirm in aller Strenge jene Bedingungen, welche oben für einen selbstleuchtenden, resp. glühenden Körper nach der FOURIER-schen Hypothese entwickelt wurden.

Aus diesem Umstande wird man nun auch auf die Richtigkeit des Emanationsgesetzes für den Fall schliessen dürfen, wo das Milchglas, anstatt von durchgehendem, von auffallendem Lichte erleuchtet wird. Es bliebe alsdann nur noch übrig, das Incidenz-Gesetz zu verificiren, zu welchem Zwecke sich die BOUGUER'sche Beobachtungsmethode im Wesentlichen ganz gut eignen würde.

Selbstverständlich werden auch andere Körper, deren Beschaffenheit im Allgemeinen mit der des Milchglases übereinstimmt, den erwähnten Gesetzen genügen, wie überhaupt alle Stoffe, welche in die Kategorie der von GÖTHE so viel besprochenen »trüben Mittel« gehören.

Ich mache auf diesen Umstand deshalb hier ganz besonders aufmerksam, weil auch die Planeten-Atmosphären zu dieser Klasse von Körpern gehören und daher für die Anwendbarkeit des LAMBERT-schen Calcüles auf die Lichtverhältnisse unseres Planetensystems von grosser Bedeutung sind.

Man kann mit Berücksichtigung des Gesagten allgemein den Satz aussprechen:

Die von den Phasen einer Planetenkugel ausgesandten Lichtmengen werden um so vollkommener der LAMBERT'schen Theorie entsprechen, **je dichter** die auf dem Planeten befindliche Atmosphäre ist und **aus je geringerer Tiefe** demnach noch Strahlen aus derselben zum Beobachter gelangen.

Diese Bedingung wird in der Wirklichkeit stets nur annähernd erfüllt sein und daher namentlich bei sehr kleiner Phasengrösse eine

Abweichung von der erwähnten Theorie eintreten müssen, welche wesentlich durch die allzustarke Transparenz der Atmosphäre bedingt ist. Dem entsprechende Beobachtungen sind bereits von BREMIKER bei Gelegenheit der totalen Sonnenfinsterniss im Jahre 1860 an der Venus gemacht worden. [1])

Ausserdem erkläre ich mir aber auch — im Hinblick auf die beim Monde von mir gefundenen Resultate —, die verhältnissmässig befriedigende Bestätigung, welche der LAMBERT'sche Calcül durch die schönen Untersuchungen SEIDEL's [2]) an der Venus erhalten hat, lediglich durch die Anwesenheit einer ziemlich dichten Atmosphäre auf der Obesfläche jenes Planeten. [3])

. 13.

Fassen wir nun die Resultate unserer bisherigen Kritik kurz zusammen, so scheint sich als das wichtigste derselben die Thatsache zu ergeben, dass die Principien des LAMBERT'schen Calcüles nicht ohne Weiteres auf physische Körper angewendet werden dürfen, sondern dass vielmehr die Gesetze der Incidenz und Emanation von der Natur des Stoffes abhängen und daher nur durch besondere, erst empirisch zu bestimmende, Functionen ausgedrückt werden können.

Diese Bestimmung wird folglich in allen denjenigen Fällen der Anwendung des Calcüles vorausgehen müssen, wo die Umstände es gestatten, die betreffenden Oberflächen des fraglichen Körpers genauer zu untersuchen.

Letzteres ist nun aber bei der Behandlung astronomisch-photometrischer Probleme nicht möglich und es fragt sich daher, ob man deswegen auf eine Anwendung des LAMBERT'schen Calcüles hierbei zu verzichten habe. — Sowohl die Erfahrung als auch die Berücksichtigung der kurz vorhergehenden Betrachtungen zeigt, dass diess keineswegs erforderlich ist. Denn entweder besitzt der Planet keine atmosphärische Hülle, — und dann äussern, wie im zweiten Theile dieser Schrift gezeigt werden wird, die nothwendig vorhandenen Un-

---

1) Monats-Berichte der Berl. Acad. 1860. p. 706—709.

2) Untersuchungen über die Lichtstärke der Planeten Venus etc. 1859.

3) Einen zweiten Grund für die besagte Uebereinstimmung habe ich am Ende des zweiten Theiles dieser Untersuchungen angeführt.

ebenheiten einen so bedeutenden Einfluss, dass hierdurch die Form jener fraglichen Functionen von geringerer Bedeutung wird; oder der Planet besitzt ausser den Unebenheiten auch eine Atmosphäre — und dann muss der im ersten Fall erhaltene Ausdruck um ein Glied vermehrt werden, dessen Form lediglich durch Anwendung der LAMBERT'schen Theorie zu ermitteln ist. Die hierbei nothwendig durch Versuche zu bestimmenden Constanten werden theils von der Steilheit der Berge, theils von der Höhe und Transparenz der Atmosphäre auf der Planetenoberfläche abhängen.

Man ersieht also aus diesen Andeutungen, dass der LAMBERT'sche Calcül vorzugsweise in astronomisch-physikalischer Beziehung eine hohe Bedeutung zu gewinnen verspricht, wobei ihm alsdann auch die Einfachheit und Eleganz seiner Operationen eine für alle Zeiten dauernde Anwendung sichern wird.

Ueberschaut man indessen den Weg und die Art und Weise, wie LAMBERT bei Begründung der Principien seines photometrischen Calcüles zu Werke gegangen ist, so wird man zugestehen müssen, dass derselbe seine soeben gerühmte Anwendbarkeit mehr der hervorgehobenen, eigenthümlichen Beschaffenheit der planetarischen Körper als der Richtigkeit und Allgemeinheit seiner Principien zu danken hat. Schwerlich hätte sich LAMBERT, — wenn nicht aus rein mathematischem Interesse — zum Aufbau seiner photometrischen Analyse bereit gefunden, wären ihm die starken Abweichungen bekannt gewesen, welche die Vergleichung seines Incidenz- und Emissionsgesetzes mit der Erfahrung den sorgfältigen Beobachter entdecken lassen.

Vergleichen wir nun hiermit die bisher nur ganz unvollständig gewürdigten Verdienste BOUGUER's um die Photometrie, so überragt dieser seinen ihm unbekannten Mitarbeiter an Beobachtungstalent und physikalischem Scharfblick um Bedeutendes mehr, als der Letztere ihn selbst an mathematisch-analytischem Aperçu.

Mit gewissenhafter Sorgfalt und scrupulöser Vorsicht werden von BOUGUER sinnreiche Versuche angestellt, welche bei einer unerschöpflichen Ideenfülle den Ausgangspunct für weitere Speculationen bilden, ohne dabei jedoch mehr aus den Beobachtungen zu folgern, als sich strenge genommen aus ihnen folgern lässt.

Die von ihm, allerdings ohne zwingende Beweise, aufgestellte Hypothese über die Beschaffenheit zerstreut reflectirender Oberflächen

muss dennoch als das nothwendige Ergebniss einer consequenten Anwendung naturwissenschaftlicher Inductionen betrachtet werden. Denn es wird durch jene Hypothese das Phänomen der zerstreuten Reflexion auf das der spiegelnden zurückgeführt und hierdurch zwei ganz verschiedenen Erscheinungen eine gemeinschaftliche Ursache vindicirt.

Es ist nun Sache weiterer, experimenteller Forschungen auf diesem bis jetzt fast gänzlich unbebauten Felde, zu entscheiden, ob jene Hypothese Bouguer's in der Natur begründet sei oder nicht.

Mag indessen das Resultat dieser Untersuchungen ausfallen wie es wolle, so lässt sich schon jetzt aus den bereits vorhandenen und oben (p. 22) mitgetheilten Beobachtungen so viel mit Gewissheit erkennen, dass die Helligkeitsveränderungen, welche eine zerstreut reflectirende Oberfläche bei verschiedenen Incidenz- und Emanationswinkeln des ein- und ausstrahlenden Lichtes zeigt, ganz characteristisch für die Natur und physikalische Beschaffenheit jener Oberflächen sein müssen.

Es liegt daher der Gedanke nahe, dass es auch umgekehrt möglich sein müsse, aus der Art und Weise jener Intensitätsänderungen auf die Beschaffenheit der lichtreflectirenden Oberfläche zu schliessen.

Hierdurch gewinnen diese Art von photometrischen Beobachtungen ein erhöhtes physikalisches Interesse, indem bei einer grossen Anzahl von Untersuchungen die Oberflächenbeschaffenheit der Körper eine sehr wesentliche Rolle spielt, und ausserdem das Studium der Veränderungen, welche die Oberflächenbeschaffenheit unter dem Einfluss physikalischer und chemischer Agentien erfährt, ein weites und, wie ich vermuthe, sehr erfolgreiches Gebiet von Untersuchungen eröffnen wird.

Ich hoffe demnächst eine grössere Anzahl solcher, an verschiedenen Körpern unter verschiedenen Umständen ausgeführter, Messungen mittheilen und hierdurch einen Beweis von der Fruchtbarkeit und Tragweite dieser Untersuchungen liefern zu können.

Während also die weitere Ausbildung und Entwickelung der Ideen Bouguer's uns Aufschlüsse über die Oberflächenbeschaffenheit der irdischen Körper zu geben verspricht, leistet die Anwendung des Lambert'schen Calcüles dasselbe in Bezug auf himmlische Körper.

Aber nicht blos objectiv lässt sich eine so eigenthümliche Beziehung zwischen den Bestrebungen und Leistungen beider Männer nachweisen, sondern auch subjectiv, indem man auf die wesentliche Beschaffenheit ihrer Gedanken- und Ideenentwickelung etwas tiefer eingeht.

Man erkennt alsdann ohne Zwang, wie die ganze Denk- und Anschauungsweise BOUGUER's eine vorherrschend synthetische, die LAMBERT's dagegen eine wesentlich analytische Richtung bei Behandlung der sich darbietenden Probleme nimmt.

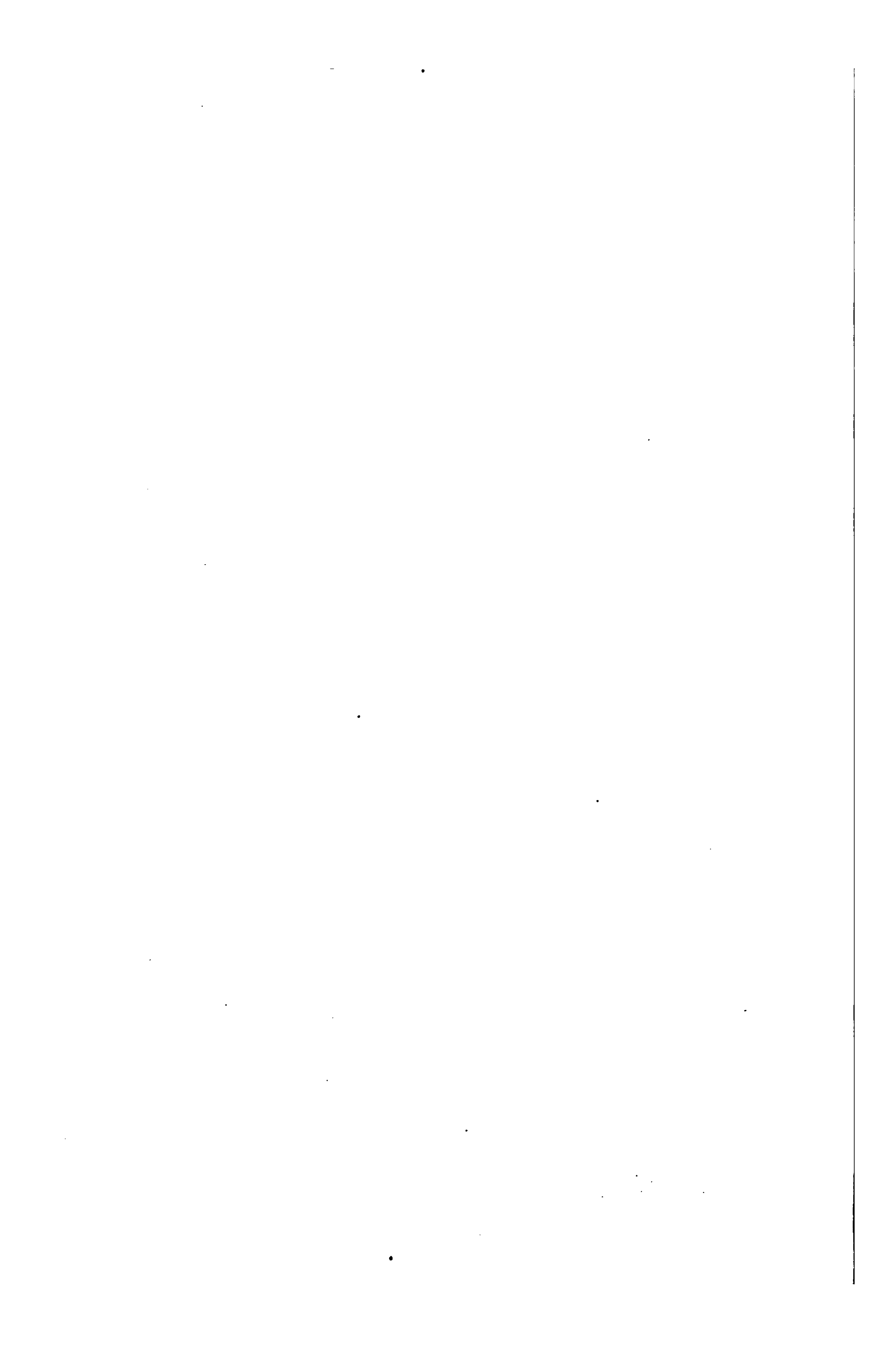
Der Erste gelangt mit Hülfe des Experiments und der geometrischen Betrachtung von einer Hypothese über die kleinsten Elemente einer zerstreut reflectirenden Oberfläche zu gesetzmässigen aber complicirten Verhältnissen dieser Erscheinung. Die Menge der dabei gewissenhaft beobachteten und berücksichtigten Details verhüllt ihm jedoch die allgemeineren Beziehungen, welche gerade LAMBERT, unter Voraussetzung idealer Verhältnisse, zur oberflächlichen Behandlung der Beobachtungen verleiten, ihn aber dafür mit mathematischem Scharfblick die Bedeutung seiner Principien für den Aufbau eines eleganten Calcüles erkennen und dieselben erfolgreich verwerthen lassen.

Man sieht also, wie gerade diejenigen Eigenschaften, welche einen jeden der genannten Forscher so Bedeutendes auf seinem Gebiete zu leisten befähigten, andrerseits auch wiederum die im Verlaufe obiger Kritik hervorgehobenen Mängel bedingten, so dass man versucht wird, auf das gegenseitige Verhältniss beider Männer in dieser Beziehung jenes bekannte Wort einer geistvollen französischen Schriftstellerin anzuwenden:

»Chacun a les défauts de ses vertus.«

II.

THEORIE
DER RELATIVEN LICHTSTAERKE
DER
MONDPHASEN.



14.

Die Aufgabe, welche in diesem zweiten Theile der vorliegenden Untersuchungen gelöst werden soll, besteht in der Entwickelung einer den Beobachtungen entsprechenden Theorie der relativen Lichtstärke der Mondphasen. — Es wurde bereits in der Einleitung hervorgehoben, dass die bisher als Lösung dieses Problems betrachtete LAMBERT'sche Theorie so bedeutende Abweichungen von den Beobachtungen zeigt, dass nothwendig die Voraussetzungen, von denen LAMBERT bei Entwickelung seiner Formeln ausgeht, nicht mit den in der Natur gegebenen Verhältnissen übereinstimmen können.

Diese Voraussetzungen sind nun im Wesentlichen die drei folgenden:

1. Auf jedes Element der Mondoberfläche ist das photometrische Grundgesetz anwendbar.
2. Die Gestalt des Mondes ist eine Kugel.
3. Die Oberfläche des Mondes ist homogen.

Aus Gründen, welche am Schlusse des vorhergehenden Theils angedeutet wurden, nehme ich die erste dieser drei Voraussetzungen als richtig an und werde mich demgemäss bei Behandlung der vorliegenden Aufgabe ausschliesslich des LAMBERT'schen Calcüles bedienen.

Hierbei muss jedoch nothwendig die Bekanntschaft mit zwei Theoremen jenes Calcüles vorausgesetzt werden, von denen ich das erste, — die Verwandlung eines beleuchteten Elementes in ein selbstleuchtendes — kurz ableiten werde, das zweite aber, — die Erleuchtung eines Elementes durch eine Kreisfläche — aus Mangel

an Raum, nur anführen kann; es soll jedoch gleichzeitig auf die ausführliche Entwickelung dieser Sätze in LAMBERT's Photometria und BEER's Grundriss d. phot. Calc. verwiesen werden.

Die zweite der von LAMBERT gemachten Voraussetzungen ist nach den Untersuchungen HANSEN's[1]) und namentlich GUSSEW's[2]) über die Gestalt des Mondes streng genommen nicht mehr zulässig. Allerdings ist die hierbei sich ergebende Abweichung von der Kugelgestalt verhältnissmässig nur eine sehr geringe, so dass man der Wahrscheinlichkeit nach von der Vernachlässigung dieses Umstandes keinen nachtheiligen Einfluss auf die Resultate zu befürchten hatte.

Dessenungeachtet habe ich der Vollständigkeit wegen auch den Einfluss der Abweichung von der Kugelgestalt besonders untersucht. Es ergab sich, dass jener Einfluss auf die relative Lichtstärke der Mondphasen nur von den höheren Potenzen der Excentricität des Ellipsoïdes abhängt und somit für unsere Zwecke vollkommen vernachlässigt werden darf.

Die dritte der oben gemachten Voraussetzungen entfernt sich offenbar am meisten von der Wirklichkeit, und zwar in doppelter Weise: einmal durch die Anwesenheit der Flecken auf dem Monde und dann durch die zahlreichen und bedeutenden Erhebungen auf seiner Oberfläche. Indem ich zunächst von der ungleich lichtreflectirenden Kraft verschiedener Theile der Mondoberfläche absah, gelang

---

1) Monthly Notices. Vol. XV. 1854. Nov. 10.

2) Bulletin de l'Academie de St. Petersbourg. 1859. T. I, p. 276—300.

Anmerkung. Die Resultate von HANSEN's theoretischen Untersuchungen verlangen nur die Annahme einer Nichtcoïncidenz des Schwerpunctes und des Centrums der als Kugel betrachteten Mondoberfläche. Dieser Bedingung kann aber auf doppelte Weise genügt werden; entweder dadurch, dass der Mond bei gleichförmiger Dichte, in einer der Verbindungslinie mit der Erde parallelen Richtung von der Kugelgestalt abweicht, oder dass bei vorhandener Kugelgestalt die Dichtigkeit eine ungleiche sei. HANSEN entscheidet sich a. a. O. für den letzten Fall, wogegen GUSSEW, sowohl aus dem Effect einer von WARREN DE LA RUE mit Benutzung der Libration angefertigten Mondstereoskopie, als auch durch sehr sorgfältige Messungen an diesem Objecte, sich für die erste Annahme erklärt. Er findet a. a. O., dass »die allgemeine Gestalt der Mondoberfläche in dem mittleren Theile der uns zugekehrten Hälfte als eine Kugel zu betrachten sei von einem kleineren Radius als der, welcher dem sichtbaren Rande angehört.«

Betrachtet man die hierdurch entstehende Figur annähernd als ein Ellipsoïd, so beträgt die Excentricität desselben nach GUSSEW 0.07; nach HANSEN (bei Annahme einer gleichförmigen Dichte) 0.03.

es mir lediglich durch Berücksichtigung der Erhebungen und des durch sie bewirkten Schattenwurfes, die hier gestellte Aufgabe in befriedigender Weise zu lösen. — Indessen war der LAMBERT'sche Calcül, wegen zu grosser Complication der erhaltenen Ausdrücke, nicht ohne Weiteres weder auf die Phasen eines Ellipsoïdes noch auf die einer mit Erhebungen bedeckten Kugeloberfläche anwendbar. Erst durch die Entwickelung eines Satzes, nach welchem man die Erleuchtung von den Phasen einer Kugel durch diejenige von den Phasen einer Kreiscylinderfläche ersetzen kann, gelang es mir, die Behandlung der bezeichneten Aufgaben ausserordentlich zu vereinfachen und den Ausdrücken eine zur numerischen Berechnung brauchbare Gestalt zu geben.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen sei es mir nun gestattet, auf den Gegenstand der angedeuteten Untersuchung selber einzugehen.

15.

Es seien dp und dp' zwei im Raume beliebig gelegene Flächenelemente, von denen das erste mit der Intensität[1]) J als selbstleuchtend, das zweite als nichtleuchtend vorausgesetzt wird.

Bezeichnet man den Abstand der beiden Elemente mit r und die Winkel, welche ihre Normalen mit ihrer Verbindungslinie machen, beziehungsweise mit ε und ε', so wird die Lichtmenge, welche von dem selbstleuchtenden Elemente dp auf das nichtleuchtende dp' übergeht, nach den LAMBERT'schen Principien ausgedrückt durch

$$\frac{J\,dp\,dp'\cos\varepsilon\cos\varepsilon'}{r^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Aus dieser Formel, welche der mathematische Ausdruck von LAMBERT's photometrischem Grundgesetz ist, ergiebt sich nun unmittelbar ein bereits früher bei Discussion des Emanationsgesetzes erwähnter Satz, der hier, seiner steten Anwendung wegen, noch einmal in anderer Form ausgesprochen sein mag:

---

1) Unter »Intensität« oder »Leuchtkraft« ist hier und im Folgenden stets eine Zahl zu verstehen, welche die auf die Flächeneinheit bezogene Lichtmenge eines selbstleuchtenden oder beleuchteten Elementes als Vielfaches einer bestimmten, als Einheit angenommenen, Lichtmenge ausdrückt.

Beschreibt man von der Mitte des erleuchteten Elementes um die Peripherie des leuchtenden als Directrix einen Kegelmantel, so bleibt die Erleuchtung des ersten Elementes ungeändert, wenn man das leuchtende Element durch ein beliebig anderes aber mit derselben Intensität leuchtendes ersetzt, dessen Umfang durch den Kegelmantel begrenzt ist.

Hieraus ergiebt sich sofort das Folgende:

Die Lichtmenge, welche von einer überall gleich leuchtenden Kugel auf ein entfernt gelegenes Flächenelement übergeht, bleibt ungeändert, wenn man die leuchtende Kugel durch eine gleich stark leuchtende, sphärische Kreisfläche von gleichem scheinbaren Durchmesser mit der Kugel ersetzt, deren Mittelpunct auf der Verbindungslinie des Elementes mit dem Kugelcentrum liegt.

16.

Dieser Satz wird nun im Folgenden zur Anwendung kommen, indem wir bei Berechnung der Erleuchtung der Mondoberfläche durch die leuchtende Sonnenkugel, für letztere ebenfalls eine gleichförmig leuchtende, sphärische Kreisfläche substituiren, deren scheinbarer Halbmesser gleich dem vom Monde aus gesehenen scheinbaren Sonnenhalbmesser ist.

Um jedoch die unter diesen Bedingungen eintretende Erleuchtung eines Elementes auf der Mondoberfläche zu ermitteln, muss zunächst allgemein der Ausdruck für die Erleuchtung eines Elementes durch eine beliebig am Himmelsgewölbe gelegene sphärische Kreisfläche bekannt sein.

Bezeichnet ζ die Zenithdistanz des Mittelpunctes der leuchtenden Scheibe, η ihren scheinbaren Halbmesser, so ist die Lichtquantität dq, welche von dieser Scheibe auf ein horizontal gelegenes Flächenelement dp' übergeht: [1])

(2) . . . . $dq = J\pi \sin^2\eta \cos\zeta \, dp'$

1) LAMBERT, Photometria §. 135. Vgl. BEER, phot. Calc. p. 33.

Es ändert sich also die Beleuchtung proportional dem Cosinus der Zenithdistanz.

Versetzt man die leuchtende Scheibe in das Zenith, so wird $\zeta = 0$. Setzt man alsdann auch noch

$$\eta = \frac{\pi}{2}$$

so erhält man aus der obigen Formel (2) für die Lichtmenge, welche von der ganzen, überall mit der Intensität J strahlenden Hemisphäre auf das horizontale Element dp' übergeht: [1]

$$dq = J\pi\, dp' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

17.

Mit Hülfe des zuletzt erhaltenen Ausdruckes lassen sich nun die Bedingungen, unter welchen man ein erleuchtetes Element durch ein selbstleuchtendes ersetzen kann, auf folgende Weise ableiten[2].

Man denke sich zwei unendliche, parallele Ebenen gegenüber gestellt. Die eine dieser Ebenen sei selbstleuchtend mit der Intensität J, die an allen Puncten als gleich vorausgesetzt wird, — die andere sei eine nichtleuchtende, das empfangene Licht vollkommen zerstreut reflectirende Fläche.

Nach den oben aufgestellten Sätzen bleibt die Lichtmenge, welche von der ganzen leuchtenden Ebene auf ein Element dp' der nicht leuchtenden übergeht, ungeändert, wenn man die unendlich grosse, selbstleuchtende Ebene durch eine über dp' beschriebene Hemisphäre von gleicher Intensität ersetzt.

Mit Berücksichtigung der Formel (3) erhalten wir für diesen Fall:

$$dq = J\pi\, dp'$$

Man kann nun aber auch, umgekehrt, die beleuchtete Ebene als eine, mit einer gewissen überall gleichen Intensität J', leuchtende betrachten, und jetzt die Lichtmenge dq' bestimmen, welche von dieser Ebene auf ein Element dp der selbstleuchtenden zurückstrahlt[3]. Man erhält hierfür:

$$dq' = J'\pi\, dp$$

---

1) LAMBERT, Photometria §. 133. Vgl. BEER, phot. Calc. p. 28. — 2) Ib. p. 29.

3) Selbstverständlich werden hierbei die Elemente dp und dp' ihrer Grösse

Da aber kein zerstreut reflectirender Körper die gesammte auf ihn fallende Lichtmenge zurückstrahlt, so wird man auch im vorliegenden Falle stets setzen müssen:

$$dq' = \mu\, dq$$

wo μ einen ächten Bruch, die sogenannte »Albedo« oder »lichtreflectirende Kraft« der beleuchteten Fläche bedeutet. Führt man den oben für dq' erhaltenen Werth in die letzte Gleichung ein, so erhält man:

$$J' = \mu \frac{dq}{\pi\, dp} \qquad (4)$$

Dies heisst in Worten:

Man kann ein erleuchtetes Flächenelement jederzeit durch ein selbstleuchtendes Element von gleicher Grösse ersetzen, wenn man dem Letzteren eine Leuchtkraft oder Intensität J' ertheilt, die gleich dem Producte aus der Albedo μ und dem Verhältniss der aufgefallenen Lichtmenge dq zu dem mit der Zahl π multiplicirten Flächenelemente dp ist.

18.

Die vorstehend entwickelten Sätze reichen nun für alle ferneren Untersuchungen aus. Ich will mit ihrer Hülfe zunächst den folgenden Satz beweisen:

Die Erleuchtung eines auf der Erde gelegenen Flächenelementes durch die Phasen der als homogen und kugelförmig angenommenen Mondoberfläche bleibt dieselbe, wenn die Mondkugel durch einen homogenen Kreiscylinder ersetzt wird, dessen Axe senkrecht zu der durch Sonne, Erde und ihn selber gelegten Ebene steht und dessen Höhe sich zu dem, dem Monddurchmesser gleichen, Durchmesser seiner Basis wie 2 zu 3 verhält.

Es wird hierbei vorausgesetzt, dass die Dimensionen der drei Körper gegen ihre Entfernungen vernachlässigt werden können.

---

nach als gleich vorausgesetzt; sie sind hier durch den Strich nur bezüglich der ihnen zugehörigen Fläche (der selbstleuchtenden oder beleuchteten) unterschieden.

Beweis. Es sei M (Fig. 1, Taf. II.) der Mittelpunct des Cylinders und der mit dem Radius r umschriebene Kreis seine Basis, so dass die Ebene des Papiers die durch Sonne, Mond und Erde gelegte Ebene vorstellt. Nach der Richtung ME liege die Erde und es sei $d\gamma$ ein senkrecht zu dieser Richtung liegendes Flächenelement, dessen Erleuchtungen durch die Phasen des Cylinders untersucht werden sollen. Die mit S bezeichneten geraden Linien mögen die als parallel angenommenen Sonnenstrahlen andeuten. Es bezeichne ferner:

v den Winkel SMP,
$d\sigma$ ein beliebiges Cylinderelement mit der Normalen N,
φ den Winkelabstand desselben von ME,
η den scheinbaren, vom Monde aus gesehenen Sonnenhalbmesser,
ε den Incidenzwinkel der Sonnenstrahlen auf dem Elemente $d\sigma$,
ε' den Emanationswinkel dieses Elementes nach der Richtung ME.

Nach Formel (2) p. 36 wird nun die Lichtmenge dq', welche von der Sonne auf das Element $d\sigma$ übergeht, ausgedrückt durch:

$$dq' = J\pi \sin^2\eta \cos\varepsilon \, d\sigma \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

worin J die als gleichförmig angenommene Leuchtkraft oder Intensität der Sonne bezeichnet.

Um nun die Lichtmenge auszudrücken, welche von diesem beleuchteten Elemente auf $d\gamma$ übergeht, verwandeln wir dasselbe zunächst in ein selbstleuchtendes, dessen Leuchtkraft J' durch die Formel (4) bestimmt ist. Substituirt man in dieser Formel für dq den oben in (5) für dq' gefundenen Werth und setzt $d\sigma = dp$, so erhält man:

$$J' = \mu J \sin^2\eta \cos\varepsilon$$

Ist also D die Entfernung des Elementes $d\gamma$ vom beleuchteten Cylinderelemente, so erhält man jetzt, mit Rücksicht auf Formel (1), für die von $d\sigma$ auf $d\gamma$ übergehende Lichtmenge dq'' den folgenden Ausdruck:

$$dq'' = \frac{\mu J \sin^2\eta}{D^2} \cos\varepsilon \cos\varepsilon' \, d\sigma \, d\gamma \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

Folglich ist die Lichtmenge dq, welche das Element $d\gamma$ von der Summe aller beleuchteten Cylinderelemente empfängt, die auf dem Raume $TO = v$ liegen:

$$(7) \quad . \quad . \quad . \quad dq = \frac{\mu J \sin^2\eta}{D^2} d\gamma \int_{\frac{1}{2}\pi - v}^{\frac{1}{2}\pi} \cos \varepsilon \cos \varepsilon' \, d\sigma$$

Bezeichnet h die Höhe des Cylinders, so hat man:

$$d\sigma = h r \, d\varphi$$

Ferner ist:

$$\varepsilon = \pi - (v + \varphi)$$
$$\varepsilon' = \varphi$$

Die Substitution dieser Werthe in dem obigen Ausdruck (7) giebt:

$$(8) \quad . \quad . \quad dq = \frac{\mu J h r \sin^2\eta}{D^2} d\gamma \int_{\frac{1}{2}\pi}^{\frac{1}{2}\pi - v} d\varphi \cos \varphi \cos (v + \varphi)$$

oder nach Ausführung der Integration zwischen den angegebenen Grenzen:

$$(9) \quad . \quad . \quad . \quad dq = \frac{\mu J h r \sin^2\eta}{2 D^2} d\gamma \, (\sin v - v \cos v)$$

Vergleicht man hiermit den Ausdruck, welchen LAMBERT unter denselben Voraussetzungen für die Lichtmenge dq' ableitet, die von der Phase einer homogenen Kugel auf das Element $d\gamma$ übergeht, so ist derselbe, — unter r den Kugelhalbmesser verstanden[1] —:

$$(10) \quad . \quad . \quad dq' = \frac{2}{3} \frac{\mu J r^2 \sin^2\eta}{D^2} d\gamma \, (\sin v - v \cos v)$$

Macht man nun in dem oben erhaltenen Ausdruck (9) die Höhe des Cylinders gleich $\frac{2}{3}$ des Durchmessers seiner Basis, d. h. setzt man

$$h = \frac{4r}{3}$$

so werden die Ausdrücke (9) und (10) identisch, d. h. es können sich unter den hier angenommenen Bedingungen Kugel und Cylinder vollständig einander vertreten, was zu beweisen war.

---

1) LAMBERT, Phot. §. 1047. — BEER, phot. Calc. p. 68.

Dieser bemerkenswerthe Satz vereinfacht nun die Betrachtungen bei den folgenden Untersuchungen über die Veränderungen, welche die Function:

$$\sin v - v \cos v$$

in Folge der ellipsoïdalen Gestalt und der Nichthomogeneïtät der Mondoberfläche erleidet, in so bedeutendem Grade, dass eigentlich erst hierdurch eine übersichtliche, theoretische Behandlung jener Einflüsse ermöglicht wird. Es lassen sich nämlich, wie unten ausführlicher gezeigt werden wird, mit Hülfe dieses Satzes alle erforderlichen Betrachtungen im Raume auf solche in der Ebene zurückführen.

Ehe ich jedoch hierzu übergehe, mag es mir gestattet sein, noch auf eine andere sehr einfache und interessante Beziehung aufmerksam zu machen.

Betrachtet man nämlich die Werthe, welche die Ausdrücke (9) und (10) für die Opposition annehmen, wobei also

$$v = \pi$$

so erhält man

a) für den Cylinder

$$dq = \frac{\mu J h r \pi \sin^2\eta}{2 D^2} \, d\gamma \quad \ldots \ldots \quad (11)$$

b) für die Kugel:

$$dq' = \frac{2}{3} \frac{\mu J r^2 \pi \sin^2\eta}{D^2} \, d\gamma \quad \ldots \ldots \quad (12)$$

Setzt man aber in (11) die Höhe des Cylinders gleich dem Durchmesser seiner Basis[1]), d. h.

$$h = 2r$$

so kommt:

$$dq = \frac{\mu J r^2 \pi \sin^2\eta}{D^2} \, d\gamma \quad \ldots \ldots \quad (12^a)$$

Sowohl aus der Vergleichung der beiden letzten Ausdrücke als auch gnmittelbar aus dem obigen Satze folgt, dass sich unter den anuegebenen Bedingungen die durch Kugel- und Cylinderfläche erzeugten Erleuchtungen wie 2 zu 3 verhalten.

1) So dass alsdann einem in $d\gamma$ befindlichen Auge der Cylinder als ein leuchtendes Quadrat von gleicher Seitenlänge mit dem Monddurchmesser erscheint.

Es lässt sich aber auch beweisen, dass der für die Cylinderfläche erhaltene Ausdruck (12[a]) gleichzeitig diejenige Lichtmenge ausdrückt, welche von der kreisförmigen, ebenen Basis des betrachteten Cylinders auf $d\gamma$ übergeht, wenn dessen Axe in der Strahlen- und Sehrichtung liegt.

Beweis. Bezeichnet man mit $d\psi$ ein Flächenelement der Cylinderbasis, so wird nach Formel (2) die Lichtmenge, welche von der, im Zenithe dieses Elementes befindlichen, leuchtenden Sonnenscheibe auf dasselbe übergeht, ausgedrückt durch:

$$dq' = J\pi \sin^2\eta \, d\psi$$

Um die hierdurch auf $d\gamma$ erzeugte Erleuchtung zu bestimmen, ersetzen wir wieder das erleuchtete Element $d\psi$ durch ein selbstleuchtendes, dessen Intensität J' nach Formel (4) mit Berücksichtigung des obigen Werthes für dq' ist:

$$J' = \mu J \sin^2\eta$$

Folglich ist die von $d\psi$ auf $d\gamma$ in der Entfernung D übergehende Lichtmenge:

$$dq'' = \frac{\mu J \sin^2\eta}{D^2} d\gamma \, d\psi$$

und demnach die von der ganzen Basis auf $d\gamma$ hervorgebrachte Erleuchtung:

$$dq = \frac{\mu J \sin^2\eta}{D^2} d\gamma \int d\psi$$

oder, da:

$$\int d\psi = r^2\pi$$

$$dq = \frac{\mu J r^2 \pi \sin^2\eta}{D^2} d\gamma$$

Dieser Ausdruck ist, wie man sieht, mit dem in *a* gefundenen identisch, woraus folgt, dass die dort betrachtete Cylinderfläche dieselbe Lichtmenge auf $d\gamma$ sendet, wie die ebene Fläche der senkrecht zur Strahlung gelegenen Basis des Cylinders, was zu beweisen war.

Dies Resultat lässt sich kurz in folgendem Satze aussprechen:

Wird die Oberfläche eines geraden Kreiscylinders, dessen Höhe gleich dem Durchmesser seiner Basis

ist, einer zur Axe senkrechten Strahlung ausgesetzt, so sendet die hierdurch erleuchtete Cylinderfläche auf ein zur Strahlenrichtung senkrecht und sehr entfernt gelegenes Flächenelement dieselbe Lichtmenge, wie die in derselben Entfernung senkrecht bestrahlte Basis des Cylinders.

19.

Indem ich nach dieser Abschweifung wieder zum eigentlichen Gegenstande meiner Untersuchungen zurückkehre, soll jetzt zunächst die Aenderung ermittelt werden, welche die Function:

$$\sin v - v \cos v$$

durch die Annahme erleidet, dass der Mond keine Kugel, sondern ein Ellipsoïd sei. Gemäss den oben (p. 34) hierüber gemachten Bemerkungen wird angenommen, dass die grosse Axe des Ellipsoïdes nach der Erde gerichtet und die Excentricität desselben eine so kleine sei, dass hier die höheren Potenzen derselben vernachlässigt werden können.

Nach dem früher bewiesenen Satze von der Uebereinstimmung des Gesetzes der Phasenerleuchtung bei der Kugel und dem Cylinder kann man im vorliegenden Falle an Stelle des Ellipsoïdes einen elliptischen Cylinder einführen, dessen Axe senkrecht zu der durch Sonne, Mond und Erde gelegten Ebene steht. — Im Allgemeinen wird man zwar nicht berechtigt sein, von der Uebereinstimmung des erwähnten Gesetzes bei Kugel und Kreiscylinder auf das Fortbestehen dieser Uebereinstimmung bei Ellipsoïd und elliptischen Cylinder zu schliessen; indessen kann man sich jederzeit an Stelle des strengen Rotationsellipsoïdes einen andern, vom Ellipsoïde wenig abweichenden, Körper von solcher Beschaffenheit denken, dass das Gesetz der Phasenänderung dieses Körpers mit dem für den elliptischen Cylinder gefundenen übereinstimmt. Die Berechtigung zu diesem Raisonnement liegt in dem Ziel der vorliegenden Untersuchung, insofern es hier nur darauf ankommt, den Einfluss zu ermitteln, welchen ein um Weniges von der Kugelgestalt abweichender, ellipsoïdaler Körper von übrigens sehr ungleicher Oberflächenbe-

schaffenheit[1]), auf das Gesetz der Phasenerleuchtung bei einer ähnlich beschaffenen Kugel ausübt.

Es bezeichne nun die Ellipse (Fig. 2 Taf. II), deren Brennpunct in F liege, die Basis des Cylinders. Ist ferner die Linie FE nach der Erde, die Linie FS nach der Sonne gerichtet, so handelt es sich zunächst darum, für einen beliebigen Punct m des Umfanges der Ellipse sowohl die Grösse des Cylinderelementes $d\sigma$ als auch den Incidenz- und Emissionswinkel ε und ε' in diesem Puncte als Function der Lage jenes Elementes auszudrücken.

Wählt man zu diesem Zwecke Polarcoordinaten aus dem Brennpuncte F und bezeichnet mit r den Radiusvector, mit φ den Winkel, welchen derselbe mit dem nach E gerichteten Theile der grossen Halbaxe a macht und endlich mit e die Excentricität, so ist die Polargleichung der Ellipse:

$$(14) \quad \ldots\ldots \quad r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\varphi}.$$

Bezeichnet allgemein

$$r = f(\varphi)$$

die Gleichung einer Curve in Polarcoordinaten, so ist der Winkel τ, welchen die Normale in einem beliebigen Puncte mit der X-Axe einschliesst, durch folgende Gleichung bestimmt:

$$(15) \quad \ldots\ldots \quad \operatorname{tang}(\tau-\varphi) = -\frac{1}{r}\frac{dr}{d\varphi}.$$

Durch Differentiation der Polargleichung (14) erhält man:

$$(16) \quad \ldots\ldots \quad \frac{dr}{d\varphi} = \frac{ae(1-e^2)\sin\varphi}{(1+e\cos\varphi)^2}$$

folglich, aus den Formeln (14), (15) und (16):

$$(17) \quad \ldots\ldots \quad \operatorname{tang}(\varphi-\tau) = \frac{e\sin\varphi}{1+e\cos\varphi}.$$

Da die Glieder mit höheren Potenzen von e vernachlässigt werden sollen, so erhält man aus der letzten Gleichung durch Reihenentwickelung:

$$\varphi-\tau = e\sin\varphi$$

---

1) Mit Rücksicht auf die Flecken und Berge auf dem Monde.

oder:

$$\tau = \varphi - e \sin \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

Bezeichnet man wie früher den Winkel SFP mit v, so hat man zur Bestimmung des Incidenzwinkels $\varepsilon = NmS$ die folgenden Gleichungen:

$$\varepsilon = \pi - (v + \tau)$$

oder für τ den obigen Werth eingeführt:

$$\varepsilon = \pi - (v + \varphi - e \sin \varphi) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19)$$

Die Grösse eines Flächenelementes $d\sigma$ des Cylinders ist, wenn die Höhe desselben, wie früher, mit h und die Länge eines Bogenelementes der elliptischen Basis mit ds bezeichnet wird:

$$d\sigma = h\,ds$$

Man hat nun allgemein:

$$ds = d\varphi \sqrt{r^2 + \left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2}$$

Mit Berücksichtigung des obigen Werthes (16) für $\frac{dr}{d\varphi}$, welcher e als Factor enthält, ergiebt sich aber einfach:

$$ds = r\,d\varphi = a\,(1 - e \cos \varphi)\, d\varphi$$

folglich:

$$d\sigma = a\,h\,(1 - e \cos \varphi)\, d\varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

Nach der Formel (6) ist nun die Lichtmenge dq'', welche von einem durch die Sonne unter dem Winkel ε bestrahlten Elemente $d\sigma$ nach dem in der Entfernung D befindlichen Elemente $d\gamma$ unter dem Emissionswinkel ε' ausgesandt wird:

$$dq'' = \frac{\mu J \sin^2 \eta}{D^2} \cos \varepsilon \cos \varepsilon'\, d\gamma\, d\sigma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20^a)$$

Berücksichtigt man, dass im vorliegenden Falle

$$\varepsilon' = \tau$$

und substituirt in der letzten Gleichung die für ε, ε' und $d\sigma$ in den Ausdrücken (18), (19) und (20) entwickelten Werthe, so erhält man

als Ausdruck für die Lichtmenge, welche von der, einer Elongation v entsprechenden, Phase eines elliptischen Cylinders auf ein Element $d\gamma$ der Erdoberfläche gelangt, die folgende Gleichung:

$$(21) \left\{ dq = \frac{\mu J h a \sin^2 \eta}{D^2} d\gamma \int_{\varphi'}^{\varphi''} d\varphi \cos(\varphi - e \sin\varphi) \cos(v + \varphi - e\sin\varphi)(e\cos\varphi - 1) \right.$$

wobei φ' und φ'' zwei Grössen sind, die jetzt näher bestimmt werden sollen.

Aus der Figur ist unmittelbar ersichtlich, dass es sich hierbei nur darum handelt, die Coordinaten der Berührungspunkte zweier Tangenten zu bestimmen, von denen die erstere parallel den Sonnenstrahlen, die zweite parallel der Richtung nach der Erde, oder, was im vorliegenden Fall dasselbe ist, parallel der grossen Axe ist.

Es sei τ' der Winkel, welchen eine Tangente im Puncte m mit der Richtung FE macht, so ist mit Rücksicht auf die Bedeutung von τ

$$\tau' = \tau + \frac{\pi}{2}$$

oder, indem man hierin für τ seinen Werth aus (18) setzt:

$$(21^a) \quad \ldots\ldots \quad \varphi - e\sin\varphi = \tau' - \frac{\pi}{2}.$$

Aus dieser Gleichung lassen sich nun die gesuchten Coordinaten bestimmen, wenn man berücksichtigt, dass

für die untere Grenze: $\tau' = \pi - v$
für die obere Grenze: $\tau' = \pi$.

Man erhält demnach durch Einführung dieser Werthe in die obige Gleichung (21^a) zur Bestimmung von φ' und φ'' die beiden folgenden Gleichungen:

$$(22) \quad \ldots\ldots \left\{ \begin{aligned} \varphi' - e\sin\varphi' &= \frac{\pi}{2} - v \\ \varphi'' - e\sin\varphi'' &= \frac{\pi}{2} \end{aligned} \right.$$

Hieraus lassen sich nun mit Hülfe des Lehrsatzes von LAGRANGE die Werthe für φ' und φ'' ermitteln; denn man hat nach jenem Satze aus einer Gleichung:

$$\varphi - f(\varphi) = c$$

die folgende Reihe:

$$\varphi = c + f(c) + f(c) f'(c) + \ldots$$

Diese Formel auf die Gleichungen (22) angewandt, wo

$$f(\varphi) = e \sin \varphi$$

und c beziehungsweise gleich $\frac{\pi}{2} - v$ oder $\frac{\pi}{2}$ ist, giebt mit Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung von e:

$$\left.\begin{aligned} \varphi' &= \frac{\pi}{2} - v + e \cos v \\ \varphi'' &= \frac{\pi}{2} + e \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (23)$$

Um nun zwischen diesen Grenzen die in (21) angedeutete Integration auszuführen, hat man zunächst nach einer bekannten Formel:

$$\left.\begin{aligned} &\cos(\varphi - e \sin \varphi) \cos(v + \varphi - e \sin \varphi \\ &= \tfrac{1}{2}\{\cos v + \cos[v + 2(\varphi - e \sin \varphi)]\} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (24)$$

Ferner ist:

$$\left.\begin{aligned} \cos(v + 2\varphi - 2e \sin \varphi) &= \cos(v + 2\varphi) \cos(2e \sin \varphi) \\ &\quad + \sin(v + 2\varphi) \sin(2e \sin \varphi) \end{aligned}\right\} \quad . \quad (25)$$

und mit Vernachlässigung der Glieder mit höheren Potenzen von e:

$$\begin{aligned} \cos(2e \sin \varphi) &= 1 \\ \sin(2e \sin \varphi) &= 2e \sin \varphi \end{aligned}$$

Hierdurch verwandelt sich mit Rücksicht auf (25) die Gleichung (24) in die folgende:

$$\left.\begin{aligned} &\cos(\varphi - e \sin \varphi) \cos(v + \varphi - e \sin \varphi) \\ &= \tfrac{1}{2}\{\cos v + \cos(v + 2\varphi) + 2e \sin \varphi \sin(v + 2\varphi)\} \end{aligned}\right\} \quad . \quad (26)$$

so dass durch Substitution dieses Werthes in (21) der Ausdruck für dq, mit Berücksichtigung der in (23) gefundenen Grössen für φ' und φ'', die folgende Gestalt annimmt:

$$
(27)\quad \begin{cases}
dq = \dfrac{\mu J h a \sin^2\eta}{2D^2}\, d\gamma\,\{eA - B\} \\
\text{worin:} \\
A = \displaystyle\int_{\frac{1}{2}\pi - v + e\cos v}^{\frac{1}{2}\pi + e} d\varphi\,(\cos(v+2\varphi)\cos\varphi - 2\sin(v+2\varphi)\sin\varphi - \cos v\cos\varphi) \\
B = \displaystyle\int_{\frac{1}{2}\pi - v + e\cos v}^{\frac{1}{2}\pi + e} d\varphi\,(\cos(v+2\varphi) + \cos v)
\end{cases}
$$

Da bei der Ausführung dieser Integrationen nur Glieder erster Ordnung von e berücksichtigt werden sollen, so kann man offenbar in den Grenzen des mit der Grösse e multiplicirten Integrales A die von e abhängigen Werthe, e und $e\cos v$, vernachlässigen, indem hierdurch nur Glieder höherer Ordnung von e in den definitiven Ausdruck für dq eingeführt werden können. Man hat demnach die besagten Integrationen nur zwischen den Grenzen $\frac{\pi}{2}$ und $\frac{\pi}{2} - v$ zu vollziehen und erhält alsdann:

$$
\int_{\frac{1}{2}\pi - v}^{\frac{1}{2}\pi} d\varphi\cos(v+2\varphi)\cos\varphi = \tfrac{1}{3}\cos v + \tfrac{1}{6}(\cos^2 v - \sin^2 v) - \tfrac{1}{2}
$$

$$
-2\int_{\frac{1}{2}\pi - v}^{\frac{1}{2}\pi} d\varphi\sin(v+2\varphi)\sin\varphi = -\tfrac{4}{3}\cos v + \tfrac{1}{3}(\cos^2 v - \sin^2 v) + 1
$$

$$
\cos v\int_{\frac{1}{2}\pi - v}^{\frac{1}{2}\pi} d\varphi\cos\varphi = \cos v - \cos^2 v
$$

Die Summe dieser drei Integrale ist aber gleich Null, so dass jetzt nur noch das nicht mit e behaftete Integral B übrig bleibt. Hier ist die Zulässigkeit der obigen Vereinfachung der Grenzen nicht unmittelbar einleuchtend, denn man hat:

$$\int_{\frac{1}{2}\pi - v + e\cos v}^{\frac{1}{2}\pi + e} d\varphi \cos(v + 2\varphi) = -\sin v - e\cos v\,(1 - \cos v)$$

$$\cos v \int_{\frac{1}{2}\pi - v + e\cos v}^{\frac{1}{2}\pi + e} d\varphi = v\cos v + e\cos v\,(1 - \cos v)$$

so dass:

$$-\int_{\frac{1}{2}\pi - v + e\cos v}^{\frac{1}{2}\pi + e} d\varphi\,(\cos(v + 2\varphi) + \cos v) = \sin v - v\cos v$$

Hierdurch reducirt sich schliesslich der Ausdruck (27) auf den folgenden:

$$dq = \frac{\mu J h a \sin^2\eta}{2D^2}\, d\gamma\,(\sin v - v\cos v) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28)$$

der, wie man sieht, mit dem Ausdruck (9) identisch wird, wenn man

$$a = r$$

setzt.

Hieraus folgt also, dass das Gesetz der Phasenerleuchtung eines Ellipsoïdes sich von demjenigen einer Kugel nur durch Glieder unterscheidet, welche von höheren Potenzen der Excentricität des Ellipsoïdes abhängen und dass demnach die ellipsoïdale Gestalt der Mondoberfläche in keiner Weise die oben besprochenen Abweichungen zwischen LAMBERT's Formel und den Beobachtungen zu erklären im Stande ist.

20.

Es muss also jetzt der Einfluss schattenwerfender Objecte auf der Mondoberfläche näher untersucht werden, wie ein solcher bei dem schroffen Wechsel von Berg und Thal auf jenem Körper factisch vorhanden ist.

Es wird sich bei dieser Untersuchung vor allen Dingen darum handeln, die Bedingungen der Aufgabe, soweit als irgend möglich

zu vereinfachen, ohne sich dabei von den in der Wirklichkeit stattfindenden Verhältnissen allzuweit zu entfernen.

Hierhin gehört zunächst die Vernachlässigung aller Lichtreflexe von den beleuchteten auf die beschatteten Theile, so dass letztere stets als vollkommen dunkle betrachtet werden.

Behufs weiterer Vereinfachungen betrachten wir zunächst den Schattenwurf ganzer Bergzüge und nehmen an, es sei z. B. *ab* (Fig. 3, Taf. II) ein solcher, beliebig auf der Mondoberfläche *MON* gelegener Höhenzug, während sich der Mond in der auf der Zeichnung angedeuteten Phase befindet und demgemäss von *S* her durch die Sonne erleuchtet wird.

Es ist klar, dass für die Grösse des Schattenwurfs die Lage des Bergzuges nicht gleichgültig ist. Vielmehr wird bei einem senkrecht zur Strahlenrichtung gelegenen Bergzuge der Schatten sein Maximum, bei einem parallel derselben gelegenen sein Minimum erreichen.

Man kann demnach stets die Grösse des Schattens eines beliebig gelegenen Gebirgszuges durch den Schatten eines andern, senkrecht zur Bestrahlung gelegenen, ersetzen, so dass an Stelle der unregelmässigen Vertheilung von Bergen eine regelmässige substituirt werden kann, dergestalt, dass continuirliche Bergzüge von gleicher Höhe, parallel den Meridianen, die Mondoberfläche bedecken. Es wird hierbei vorausgesetzt, dass die Mondaxe normal zu der durch Sonne, Mond und Erde gelegten Ebene steht.

Die weitere Beschaffenheit der Höhenzüge kann man dadurch für die Berechnung vereinfachen, dass man dieselben als aus zwei, unter einem bestimmten Winkel zusammenstossende, Flächen betrachtet, so dass hierdurch die Mondoberfläche eine Art, parallel den Meridianen gerichteter, Cannelirung erhält.

Mit Hülfe dieser vereinfachenden Annahmen versuchte ich nun eine Formel für die von verschiedenen Phasen einer solchen Kugel reflectirten Lichtmengen abzuleiten, gelangte jedoch hierbei zu so complicirten Ausdrücken, dass ich von jeder weiteren Untersuchung auf der angegebenen Basis Abstand nehmen musste.

Auch unter der Annahme, dass sich an Stelle der vorausgesetzten Gebirgszüge einfach nur unendlich dünne Wände in gleichem Abstande befänden, sind die Integrale, auf welche man schliesslich kommt, doch noch viel zu verwickelt, als dass man hoffen durfte,

auch nur einen einigermassen bequemen und übersichtlichen Ausdruck zu erhalten.

Die Ursache, weshalb sich trotz aller dieser Vereinfachungen die Ausdrücke doch schliesslich so stark complicirten, lag wesentlich in der sphärischen Gestalt des betrachteten Körpers. Indem ich nun untersuchte, ob sich an Stelle der Kugel nicht ein anderer Körper von einfacherer Gestalt substituiren lasse, welcher dasselbe oder doch ein ähnliches Erleuchtungsgesetz durch seine Phasen zeigte, wurde ich auf den bereits oben hervorgehobenen Satz von der Uebereinstimmung dieses Gesetzes bei Kugel und Cylinder geführt.

Es fragt sich nun, wie vorher beim Ellipsoïd, ob jene Uebereinstimmung noch fortbesteht, wenn die Oberflächen der besagten Körper nicht mehr homogen, sondern eine Beschaffenheit von der soeben besprochenen Art besitzen.

Streng genommen wird man diese Frage, ohne vorhergegangene Untersuchung, im Allgemeinen verneinen müssen. Indessen gestaltet sich die Sache im vorliegenden Falle günstiger.

Abgesehen von den dunklen und unregelmässig vertheilten Flecken auf der Mondoberfläche, ist auch die Vertheilung der Berge eine sehr unregelmässige. Von beiden Umständen muss aber, der Natur der Sache gemäss, bei einer theoretischen Untersuchung des Einflusses schattenwerfender Objecte, — um den es sich hier lediglich handelt — abgesehen werden.

Indem man nun den Einfluss zu ermitteln sucht, welchen eine regelmässige Vertheilung von schattenwerfenden Körpern auf das Phasenerleuchtungsgesetz eines Cylinders ausübt, kann man jederzeit auf der Kugel eine solche unregelmässige Vertheilung jener Körper annehmen, dass sowohl für den Cylinder mit regelmässiger als auch für die Kugel mit unregelmässiger Vertheilung von Erhebungen dasselbe Phasenerleuchtungsgesetz stattfindet.

Auf der Zulässigkeit dieser Betrachtung basirt die folgende Substitution eines regelmässig cannelirten Cylinders für die unregelmässig mit Bergen bedeckte Mondkugel. Die befriedigende Uebereinstimmung der auf diese Weise entwickelten Theorie mit den Beobachtungen wird zeigen, dass man zu den bei ihr gemachten Voraussetzungen berechtigt war.

21.

Als Form der schattenwerfenden Objecte, oder der »Erhebungen«, wie ich dieselben von jetzt an kurz nennen werde, nehme ich, analog der früheren Voraussetzung bei der Kugel, einfach zwei unter einem gewissen Winkel zu einander geneigte Ebenen an, die in einer der Axe parallelen Kante zusammenstossen, so dass Fig. 4, Taf. II den Grundriss des so beschaffenen Cylinders darstellt, dessen Oberfläche also eine parallel der Axe gerichtete Cannelirung erhält.

Selbstverständlich muss man sich über Grösse und Anzahl der Erhebungen noch nähere Bestimmungen vorbehalten, um diese möglichst den Verhältnissen auf der Mondoberfläche anzupassen. Vorläufig sehen wir jedoch hiervon ab und nehmen die Höhe der Erhebungen so gross an, als zu einer bequemen geometrischen Betrachtung der dabei stattfindenden Verhältnisse erforderlich ist.

Es befinde sich nun wieder in sehr grosser Entfernung nach der Richtung ME das senkrecht zu dieser Richtung stehende Element $d\gamma$. Ist alsdann der Cylinder in der Richtung von S her einer parallelen Bestrahlung durch die Sonne ausgesetzt, so besteht unsere Aufgabe darin, einen theoretischen Ausdruck für die Erleuchtung des Elementes $d\gamma$ durch den von S her beleuchteten und von $d\gamma$ aus sichtbaren Theil des cannelirten Cylinders zu ermitteln.

Es bezeichne nun:

- λ den Winkel, welchen zwei, vom Centrum nach den Spitzen zweier benachbarter Erhebungen gezogene, Radien bilden,
- r den Radius,
- a die Höhe der Erhebungen,
- α den Winkel, welchen die Seite einer Erhebung an der Spitze mit a bildet,
- v den Winkel SMP, den wir wie früher wegen der grossen Entfernung der Sonne gleich der Elongation des Mondes annehmen.

Die Winkel λ sollen von MO nach links gezählt werden, so dass der Winkel AMO mit λ, der Winkel BMO mit 2λ bezeichnet wird. Wie man sieht, ist hierbei vorläufig eine solche Vertheilung der Erhebungen angenommen, dass die Linie MO gerade durch die Spitze der ersten Erhebung geht.

Die Lichtmenge, welche unter den gemachten Voraussetzungen auf das Element $d\gamma$ übergeht, wird nun offenbar auf eine doppelte Weise modificirt resp. geschwächt; nämlich erstens durch Schattenwurf und zweitens durch perspectivische Verdeckung zweier benachbarter Erhebungen.

So wirft z. B. die Erhebung A' auf die der Sonne zugekehrte Seite der benachbarten Erhebung B' einen Schatten von der Länge $a'b'$, wenn Sa' die Richtung der Sonnenstrahlen bedeutet. — Ebenso ist auf der dem Elemente $d\gamma$ zugekehrten Seite der Erhebung B das Stück bc perspectivisch durch die benachbarte Erhebung C verdeckt, wenn cE parallel der Richtung ME ist.

Diese beiden Gattungen des Lichtverlustes unterscheiden sich wesentlich noch in folgender Weise von einander.

Die durch den Schattenwurf bedingten Verluste nämlich sind ersichtlich mit der Beleuchtungsrichtung oder dem Winkel v veränderlich, d. h. eine Function der Elongation; die durch die perspectivische Verdeckung erzeugten sind dagegen constant.

Ein zweiter Unterschied ergiebt sich bei Berücksichtigung der Lage der Erhebungsflächen, auf welchen die Lichtverluste stattfinden.

Der durch Schattenwurf erzeugte Verlust $a'b'$ auf der Erhebung B' liegt auf der um den Winkel α nach rechts von MB' geneigten Erhebungsseite $B'b'$, während der durch Bedeckung entstandene Verlust bc auf der um denselben Winkel nach links von MB geneigten Seite Bb liegt, wie dies auch bezüglich der übrigen Erhebungen unmittelbar aus der Figur ersichtlich ist, indem dort die beiden Seiten durch verschiedene Stärke der Linien unterschieden sind.

Wird die Beleuchtungsrichtung parallel der Richtung ME, d. h. ist $v = \pi$, so fallen natürlich beide Arten des Lichtverlustes zusammen.

Die hier hervorgehobenen Unterschiede sind für die unten folgende Bestimmung der Incidenz- und Emanationswinkel wesentlich.

22.

Die Erleuchtung des in der Richtung ME sehr weit entfernten Elementes $d\gamma$ wird nun bekannt sein, wenn erstens die Grösse der leuchtenden Flächenstücke bestimmt, und zweitens die Intensitäten oder Leuchtkräfte dieser Flächen, nach Massgabe des Incidenz- und Emanationswinkels, als Functionen der Elongation v ermittelt sind.

Um zunächst die Grössen der von perspectischer Verdeckung frei gebliebenen Flächentheile zu bestimmen, betrachten wir das Dreieck Cbc, bei dem es sich um die Bestimmung der Seite bc handelt. Ist die Erhebung B, deren Seite Bb theilweis perspectivisch verdeckt ist, von O aus gerechnet, die $n$te, so ist der Winkel

$$CMO = (n+1)\lambda .$$

Ferner ist

$$MCc = EMC = \frac{\pi}{2} - (n+1)\lambda ,$$

so dass man jetzt mit Berücksichtigung der oben eingeführten Bezeichnungen folgende Bestimmungsstücke für bc hat:

$$(29) \quad \dots \quad \begin{cases} Cbc = \lambda + 2\alpha \\ bCc = \frac{\pi}{2} - (n+1)\lambda - \alpha \\ Ccb = \frac{\pi}{2} - \alpha + n\lambda \end{cases}$$

Da nun:

$$(29^a) \quad \dots \quad bC = \frac{a}{\cos\alpha}$$

und ferner:

$$\frac{bc}{bC} = \frac{\sin bCc}{\sin Ccb}$$

so ist der nicht verdeckte Theil Bc:

$$Bc = bC\left\{1 - \frac{\sin bCc}{\sin Ccb}\right\}$$

Bezeichnet man nun, wie früher, die Höhe des cannelirten Cylinders mit h und die Grösse des unverdeckt bleibenden Flächentheils einer beliebigen ($n$ten) Erhebung mit F_1, so erhält man durch

Substitution der Werthe (29) in der letzten Gleichung für Bc den folgenden Ausdruck für F_1:

$$F_1 = \frac{a h}{\cos \alpha} \left\{ 1 - \frac{\cos \{\alpha + (n+1) \lambda\}}{\cos (\alpha - n \lambda)} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (30)$$

Durch ganz ähnliche Betrachtungen erhält man nun auch die Grössen der von der Beschattung freigebliebenen Flächentheile als Function von v ausgedrückt.

Es sei wiederum die Erhebung B', deren Seite $B'b'$ theilweis beschattet wird, die $n$te.

Alsdann ist:

$$B'MO = n \lambda$$

Ferner ist:

$$MA'a' = SMA' = SME + EMA' \text{ [1]}$$

Es ist aber:

$$SME = \pi - v$$

und

$$EMA' = (n-1) \lambda - \frac{\pi}{2}$$

so dass man mit Einführung dieser Werthe in die obige Gleichung erhält:

$$MA'a' = \frac{\pi}{2} - v + (n-1) \lambda$$

Hierdurch ergeben sich folgende Bestimmungsstücke für $a'b'$:

$$\left.\begin{aligned} A'b'a' &= \lambda + 2 \alpha \\ b'A'a' &= \frac{\pi}{2} - \{(v + \alpha) - (n-1) \lambda\} \\ b'a'A' &= \frac{\pi}{2} - \{n \lambda - (v - \alpha)\} \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad (31)$$

Man hat nun wie früher:

$$\frac{b'a'}{b'A'} = \frac{\sin b'A'a'}{\sin b'a'A'}$$

folglich für den nicht beschatteten Theil $B'a'$:

$$B'a' = b'A' \left\{ 1 - \frac{\sin b'A'a'}{\sin b'a'A'} \right\}$$

Bezeichnet man mit F_2 die Grösse des von der Beschattung frei bleibenden Theils einer beliebigen ($n$ten) Erhebung, so erhält man mit Beibehaltung der obigen Bezeichnungen:

1) Man hat sich hierbei in der Figur eine Linie MS, von M aus parallel der Bestrahlungsrichtung Sa' gezogen, zu denken.

$$(32) \quad . \quad . \quad . \quad F_2 = \frac{ah}{\cos\alpha}\left\{1 - \frac{\cos\{(v+\alpha) - (n-1)\lambda\}}{\cos\{n\lambda - (v-\alpha)\}}\right\} .$$

Durch diese Formeln (30) und (32) ist also jetzt die Grösse aller Flächen des cannelirten Cylinders bekannt, welche überhaupt bei einer bestimmten Elongation v nach $d\gamma$ Licht entsenden.

Zur Kenntniss der hierdurch nach $d\gamma$ gesandten Lichtmenge ist aber noch erforderlich, für jede dieser Flächen den Incidenzwinkel der von S kommenden Strahlen und den Emanationswinkel der nach $d\gamma$ gesandten Strahlen zu kennen.

Mit Berücksichtigung des oben hervorgehobenen Unterschiedes, bezüglich der Lage der leuchtenden Flächen, ist es leicht, diese Winkel zu bestimmen.

Bezeichnet man, wie früher, mit ε den Incidenzwinkel, d. h. im vorliegenden Falle den Winkel, welchen die Richtung MS mit der Normale einer leuchtenden Fläche bildet, und mit ε' den Emanationswinkel, welchen die Richtung ME mit derselben Normale macht, so sollen zunächst die Werthe des Emanationswinkels ε' für die in (30) und (32) bestimmten Flächen F_1 und F_2 ermittelt werden.

Indem wir wieder die Erhebung B berücksichtigen, steht Ec normal zu MO; folglich schliesst auch die Richtung Ec mit einer Normalen zu MB einen Winkel ein, der gleich BMO ist, und demgemäss mit der um α weniger dagegen geneigten Normale Nc den Winkel

$$BMO - \alpha = \varepsilon' .$$

Ist aber B die $n$te Erhebung, so ist:

$$BMO = n\lambda$$

und man hat für die Flächen F_1

$$(33^a) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \varepsilon'_1 = n\lambda - \alpha .$$

Durch eine ganz ähnliche Betrachtung findet man, mit Rücksicht darauf, dass stets der Winkel mit dem positiven, also nach Aussen gerichteten Theile der Normale, verstanden wird, für die Flächen F_2

$$(33^b) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \varepsilon'_2 = n\lambda + \alpha - \pi .$$

Die Werthe des Incidenzwinkels ε für dieselben Flächen ergeben sich einfach durch folgende Betrachtung:

Geht man von der Erhebung in O aus, so ist der Winkel, welchen die Richtung der Sonnenstrahlen, oder SM mit einer Normalen zu MO macht, offenbar gleich $\pi - v$, folglich der Winkel, welchen dieselbe Richtung mit der um α gegen MO geneigten Normalen der Seite Oo macht, gleich $\pi - v - \alpha$.

Für die nächstfolgende Erhebung in A, bei welcher die Linie AM um λ gegen OM geneigt ist, wird der Winkel der Richtung SM mit der Normalen zu AM um λ vergrössert und daher der Incidenzwinkel für die entsprechende Seite der Erhebung A gleich:

$$\pi - v - \alpha + \lambda$$

Demnach ergiebt sich als Incidenzwinkel ε bei der $n$ten Erhebung für die Flächen F_1 der folgende Werth:

$$\varepsilon_1 = n\lambda - v - \alpha + \pi \quad \ldots\ldots \quad (34^a)$$

und für die Flächen F_2:

$$\varepsilon_2 = n\lambda - v + \alpha \quad \ldots\ldots \quad (34^b)$$

Bezeichnet nun dq die ganze, vom beleuchteten Cylinder nach $d\gamma$ übergehende, Lichtmenge, so ist mit Beibehaltung der früheren Bezeichnungen:

$$dq = \frac{\mu J \sin^2 \eta}{D^2} d\gamma \left\{ \sum_{n_1'}^{n_1''} F_1 \cos \varepsilon_1 \cos \varepsilon_1' + \sum_{n_2'}^{n_2''} F_2 \cos \varepsilon_2 \cos \varepsilon_2' \right\} \quad \ldots \quad (35)$$

23.

Bevor ich zur weiteren Entwickelung der vorstehenden Formel übergehe, sollen zunächst die Grenzen n_1', n_1'' und n_2', n_2'' bestimmt werden, zwischen welchen die oben angedeuteten Summationen auszuführen sind.

Wir hatten für F_1 und F_2 die folgenden Ausdrücke erhalten:

$$F_1 = \frac{ah}{\cos\alpha} \left\{ 1 - \frac{\cos\{\alpha + (n+1)\lambda\}}{\cos(\alpha - n\lambda)} \right\}$$

$$F_2 = \frac{ah}{\cos\alpha} \left\{ 1 - \frac{\cos\{(v+\alpha) - (n-1)\lambda\}}{\cos\{n\lambda - (v-\alpha)\}} \right\}.$$

Die Lichtmenge, welche von den Flächen F_1 nach $d\gamma$ gesandt wird, kann nun auf doppelte Weise verschwinden, nämlich erstens dadurch, dass F_1 selber Null wird, d. h. dass die perspectivische Verdeckung der betreffenden Fläche durch die benachbarte Erhebung eine vollständige ist, und zweitens dadurch, dass der Incidenzwinkel der Sonnenstrahlen gleich $\frac{\pi}{2}$ und somit die Erleuchtung der betreffenden Fläche gleich Null wird.

Als Bedingung für die erste Art des Verschwindens ergiebt sich aus dem Werthe für F_1 die Gleichung:

$$\frac{\cos\{\alpha + (n+1)\lambda\}}{\cos(\alpha - n\lambda)} = 1$$

woraus:

$$(36^a) \quad \ldots\ldots \quad n_1' = -\tfrac{1}{2}\,.$$

Die Bedingung für die zweite Art des Verschwindens der Lichtmenge ergiebt sich aus dem Werthe für $\cos\varepsilon_1$. — Mit Berücksichtigung von (34^a) hat man für diesen Fall:

$$\cos(n\lambda - v - \alpha + \pi) = 0$$

woraus:

$$(36^b) \quad \ldots\ldots \quad n_1'' = \frac{v + \alpha - \frac{1}{2}\pi}{\lambda}\,.$$

Durch eine ganz analoge Betrachtung gelangt man nun zur Bestimmung der Werthe n_2' und n_2'' bei der zweiten Summation. Wie man sieht, können auch hier die Lichtmengen, welche von den Flächen der zweiten Gattung F_2 nach $d\gamma$ gesandt werden, auf doppelte Weise verschwinden: erstens dadurch, dass der Cosinus des Emanationswinkels ε' gleich Null wird, und zweitens durch vollständige Beschattung von einer benachbarten Erhebung.

In der Figur tritt der erste Fall etwa bei der Erhebung T, der zweite bei der Erhebung T' ein. Mit Berücksichtigung der in (33^a) und (33^b) erhaltenen Ausdrücke ergiebt sich alsdann:

$$(37^a) \quad \ldots\ldots \quad n_2' = \frac{\frac{1}{2}\pi - \alpha}{\lambda}$$

und

$$(37^b) \quad \ldots\ldots \quad n_2'' = \frac{2v + \lambda}{2\lambda}\,.$$

24.

Die in den obigen Ausdrücken (36) und (37) erhaltenen Werthe für die Summationsgrenzen bedürfen indessen noch einiger Erläuterungen insofern dabei, wie man sieht, für n auch gebrochene Zahlen auftreten können.

Wie schon oben bemerkt, wurde bei Construction der Figur bisher die Annahme gemacht, dass die Erhebung O mit ihrem Gipfel genau in die zu ME senkrechte Richtung falle, von welcher aus die Erhebungen und demgemäss die Winkel $n\lambda$ gezählt wurden.

Denkt man sich nun die ganze Figur um den Winkel $\frac{\lambda}{2}$ von links nach rechts gedreht, so wird jetzt der Punct o in die vorher bezeichnete Linie MQ fallen und die Richtung MO_1 mit dieser Linie den Winkel $-\frac{\lambda}{2}$ einschliessen. In diesem Falle ist nun aber die Richtung A_1O_1 senkrecht zu MQ oder parallel zu ME, so dass für diese Lage einem in $d\gamma$ befindlichen Auge die Seite o_1O_1 genau durch die davor liegende Erhebung A_1 verdeckt wird.

Man ist also auch durch geometrische Betrachtung zu demselben Werthe der unteren Grenze n_1' gelangt wie oben (36^a). Gleichzeitig ist aber ersichtlich, dass zur allgemeinen Bestimmung dieser Grenze auch noch der Winkel gegeben sein müsste, um welchen die der Linie MQ zunächst gelegene Erhebung von dieser Richtung abweicht. — Bezeichnet ψ eine Zahl, welche den Werth dieses Winkels in Einheiten von λ ausgedrückt, wobei also ψ stets zwischen 0 und $\frac{1}{2}$ liegt, so erhält man jetzt allgemeiner

$$n_1' = \psi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (38^a)$$

Etwas anders gestaltet sich diese Betrachtung für die obere Grenze n_1''. Für diese muss, der gegebenen Bedingung gemäss, die betreffende Erhebungsseite der Flächengattung F_1 parallel den Sonnenstrahlen sein. Angenommen, es wäre dies bei der Seite rR der Erhebung R der Fall, so handelt es sich darum, zu untersuchen, welche Aenderung der Grenzwerth n_1'' erleidet, wenn die Erhebung R nach R' oder R'', d. h. entweder um $-\frac{\lambda}{2}$ oder $+\frac{\lambda}{2}$ gegen ihre ursprüngliche Lage verschoben ist, oder, was dasselbe ist, es muss

der Fall näher untersucht werden, wo der Werth n_1'' nicht ein ganzes Vielfache des Winkels λ ist.

Aus der Betrachtung der Figur geht aber unmittelbar hervor, dass, wenn bei der angenommenen Verschiebung die Summation bis zur Erhebung R' ausgedehnt wird, alle leuchtenden Flächen der ersten Gattung F_1 berücksichtigt sind und dass dies auch bei weiter fortgesetzter Verschiebung von R' nach R''' so lange der Fall sein wird, bis $r''R''$ mit rR zusammenfällt. Hieraus folgt nun, dass, wenn der oben in (36^b) erhaltene Grenzwerth für n_1'' kein ganzes Vielfache von λ ist, die Summation nur bis zu dem grössten darin enthaltenen Vielfachen ausgedehnt zu werden braucht. Findet man also:

$$n_1'' = \Psi + \psi'$$

wo Ψ eine ganze Zahl und ψ' ein ächter Bruch ist, so hat man die Summation nur auszudehnen bis:

$$n_1'' = \Psi .$$

Man erhält demnach jetzt an Stelle des Werthes (36^b) allgemeiner den folgenden:

$$(38^b) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad n_1'' = \frac{v + \alpha - \frac{1}{2}\pi}{\lambda} - \psi'$$

worin ψ' einen ächten Bruch bedeutet, welcher, von $\frac{v + \alpha - \frac{1}{2}\pi}{\lambda}$ subtrahirt, den Werth von n_1'' auf ein ganzes Vielfache von λ reducirt.

In ganz ähnlicher Weise gelangt man zu allgemeineren Ausdrücken für die Werthe n_2' und n_2''.

Ist nämlich n_2' nicht ein ganzes Vielfache von λ, d. h. fällt die mit EM parallele Lage einer Fläche der zweiten Gattung zwischen zwei benachbarte Flächen F_2, also nach der Figur etwa zwischen Tt und Cb, so ist ersichtlich, dass die Summation erst mit derjenigen Erhebung zu beginnen braucht, deren Index man durch Ergänzung der Zahl

$$\frac{\frac{1}{2}\pi - \alpha}{\lambda}$$

zu einem ganzen Vielfachen erhält, so dass, unter ψ'' diesen Ergänzungsbruch verstanden, man jetzt erhält:

$$(39^a) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad n_2' = \frac{\frac{1}{2}\pi - \alpha}{\lambda} + \psi''$$

Für n_2' findet man, wenn ψ''' den ächten Bruch bezeichnet, um welchen die erhaltene Zahl vermindert werden muss, damit sie ein ganzes Vielfache von λ sei:

$$n_2'' = \frac{2v + \lambda}{2\lambda} - \psi''' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (39^b)$$

Die hier durchgeführte, ausführliche Discussion der Grenzen mag vielleicht mit Berücksichtigung des bei diesen Untersuchungen ursprünglich beabsichtigten Zweckes als überflüssig erscheinen, insofern man jederzeit über die vorkommenden Winkelgrössen so disponiren kann, dass die betrachteten Summationsgrenzen stets ganze Vielfache von λ werden. Indessen, ganz abgesehen davon, dass doch die näheren Bedingungen hierbei ebenfalls noch eine Untersuchung erfordert hätten, besitzt jetzt die unten erhaltene Formel eine solche Allgemeinheit, dass sie gleichzeitig die Erleuchtung des Elementes $d\gamma$ durch jeden beliebigen, zu einer bestimmten Gattung gehörigen, prismatischen Körper ausdrückt.

25.

Mit Berücksichtigung der vorhergehenden Entwickelungen soll jetzt aus Formel (35) der definitive Ausdruck für die auf $d\gamma$ übergehende Lichtmenge dq abgeleitet werden.

Die in (35) auszuführenden Summationen sind folgende:

$$\sum_{n_1'}^{n_1''} F_1 \cos \varepsilon_1 \cos \varepsilon_1'$$

und

$$\sum_{n_2'}^{n_2''} F_2 \cos \varepsilon_2 \cos \varepsilon_2'$$

Mit Einführung der in (30), (32), (33^a u. 33^b), (34^a u. 34^b) erhaltenen Werthe für F_1, F_2 ε_1, ε_1', ε_2, ε_2' hat man:

$$\left. \begin{aligned} F_1 \cos \varepsilon_1 \cos \varepsilon_1' = \frac{ah}{\cos \alpha} \Big\{ & \cos \{\alpha + (n+1)\lambda\} \\ & - \cos (\alpha - n\lambda) \Big\} \cos (n\lambda - v - \alpha) \end{aligned} \right\} \quad . \quad . \quad (40^a)$$

$$(40^b) \;.\;.\; \begin{cases} F_2' \cos \varepsilon_2 \cos \varepsilon_2' = \frac{a h}{\cos \alpha} \Big\{ \cos \{v + \alpha - (n-1)\lambda\} \\ \qquad - \cos (n\lambda - v + \alpha) \Big\} \cos (n\lambda + \alpha) \;. \end{cases}$$

Nach dem Ausdruck (29^a) ist aber $\frac{a}{\cos \alpha}$ die Seitenlänge einer Erhebung und folglich mit Berücksichtigung der Figur:

$$\frac{a}{\cos \alpha} = \frac{r \sin \frac{1}{2}\lambda}{\sin \alpha} \;.$$

Durch Einführung dieses Werthes in (40^a) und (40^b) erhält man aus (35) jetzt den folgenden Ausdruck für dq:

$$(41) \begin{cases} dq = \frac{\mu J h r \sin^2 \eta}{D^2 \sin \alpha} d\gamma \Bigg\{ \sum_{n_1'}^{n_1''} \sin \frac{\lambda}{2} \cos \{\alpha + (n+1)\lambda\} \cos (n\lambda - v - \alpha) \\ \quad - \sum_{n_1'}^{n_1''} \sin \frac{\lambda}{2} \cos (\alpha - n\lambda) \cos (n\lambda - v - \alpha) \\ \quad + \sum_{n_2'}^{n_2''} \sin \frac{\lambda}{2} \cos \{v + \alpha - (n-1)\lambda\} \cos (n\lambda + \alpha) \\ \quad - \sum_{n_2'}^{n_2''} \sin \frac{\lambda}{2} \cos (n\lambda - v + \alpha) \cos (n\lambda + \alpha) \Bigg\} \;. \end{cases}$$

Verwandelt man die hierin enthaltenen Producte der Cosinus in Summen und führt alsdann, indem man

$$\delta = 2\lambda$$

setzt, die angedeuteten Summationen nach der folgenden, allgemeinen Summationsformel aus:

$$\sum_0^n \cos (\zeta + n\delta) = \frac{\cos (\zeta + \frac{1}{2} n \delta) \sin \frac{1}{2}(n+1)\delta}{\sin \frac{1}{2}\delta}$$

so erhält man:

$$
\left.\begin{aligned}
dq = \frac{\mu J h r \sin^2 \eta}{4 D^2 \sin \alpha}\, d\gamma \Bigg\{ \Bigg[& \frac{\cos\{(n+1)\lambda - v\} \sin (n+1)\lambda}{\cos \frac{1}{2}\lambda} \\
& - \frac{\cos (v - n\lambda + 2\alpha) \sin (1-n)\lambda}{\cos \frac{1}{2}\lambda} + n \sin \frac{\lambda}{2} \{\cos (2\alpha + v + \lambda) - \cos v\} \Bigg]_{n=\psi}^{n=\frac{v+\alpha-\frac{1}{2}\pi}{\lambda}-\psi'} \\
& + \Bigg[\frac{\cos\{(n-1)\lambda - v\} - \cos (n\lambda - v + 2\alpha)}{\cos \frac{1}{2}\lambda} \sin (n+1)\lambda \\
& + n \sin \frac{\lambda}{2} \{\cos (2\alpha + v + \lambda) - \cos v\} \Bigg]_{n=\frac{\frac{1}{2}\pi-\alpha}{\lambda}+\psi''}^{n=\frac{v+\frac{1}{2}\lambda}{\lambda}-\psi'''} \Bigg\} .
\end{aligned}\right\} \quad (42)
$$

worin ψ, ψ', ψ'', ψ''' die oben (p. 59—61) angegebenen Bedeutungen haben.

Die obige Formel enthält nun den allgemeinen Ausdruck für die Lichtmenge, welche von einem durch die Sonne beleuchteten, cannelirten Cylinder von der angegebenen Beschaffenheit, bei einer beliebigen Elongation v, auf ein parallel zur Axe des Cylinders und sehr weit von diesem entferntes Flächenelement $d\gamma$ übergeht.

Es ist ersichtlich, dass man durch entsprechende Veränderung der Grössen λ und α den bisher betrachteten Cylinder in jeden andern prismatischen Körper von gleichseitiger Basis verwandeln kann, so dass also die obige Formel (42) auch für alle diese Körper die Lichtmengen ausdrückt, welche unter den angegebenen Beleuchtungsverhältnissen von ihrer Oberfläche nach einem sehr weit entfernten Puncte reflectirt werden.

Setzt man z. B. $\alpha = \frac{\pi}{2}$, so verwandeln sich die Erhebungen in die Seitenflächen eines verticalen Prisma's, dessen Basis ein gleichseitiges Polygon von beliebiger Seitenzahl ist. Durch weitere Bestimmungen über λ lässt sich alsdann diese Basis in jede beliebige, gradlinige und gleichseitige Figur verwandeln.

Es scheint mir die hier hervorgehobene Eigenschaft der entwickelten Formel für genauere Untersuchungen jenes so merk-

würdigen Lichtwechsels einiger kleinen Planeten, als dessen Ursache u. A. auch eine von der Kugelgestalt sehr abweichende Form dieser Körper vermuthet wird, nicht ganz ohne Interesse zu sein.

26.

Soll nun die gefundene Formel speciell zur Berechnung der relativen Lichtstärke der Mondphasen angewandt werden, so sind, mit Berücksichtigung der bereits früher (p. 51) erwähnten Umstände, sehr bedeutende Beschränkungen resp. Vereinfachungen der oben hervorgehobenen Allgemeinheit zulässig.

Zunächst leuchtet ein, dass man bei der Kleinheit von λ, oder, was dasselbe ist, bei der grossen Anzahl von Erhebungen auf der Mondoberfläche, dem cannelirten Cylinder jederzeit eine solche Lage geben kann, dass in den von v unabhängigen Summationsgrenzen n_1' und n_2' die Grössen ψ und ψ'' verschwinden müssen. Aus demselben Grunde ist es gestattet, die Werthe von dq nur für solche Elongationen v zu berechnen, für welche in den von v abhängigen Summationsgrenzen n_1'' und n_2'' die Grössen ψ' und ψ''' verschwinden, so dass man sich für diesen Fall das Wachsen der Elongation v als in endlichen Intervallen von der Grösse λ vorzustellen hat.

Vernachlässigt man ausserdem $\frac{\lambda}{2}$ gegen v, so erhält man für die vereinfachten Summationsgrenzen aus den Formeln (38^a u. 38^b), (39^a u. 39^b).

$$(43) \quad \ldots\ldots \quad \begin{cases} n_1' = 0 \\ n_1'' = \frac{v + \alpha - \frac{1}{2}\pi}{\lambda} \\ n_2'' = \frac{v}{\lambda} \\ n_2' = \frac{\frac{1}{2}\pi - \alpha}{\lambda}\,. \end{cases}$$

Ebenso ist es gestattet, bei nicht allzu kleiner Phase, λ gegen $n\lambda$ zu vernachlässigen. Mit Hülfe dieser Substitutionen und nach Einführung der vereinfachten Grenzwerthe verwandelt sich der Ausdruck (42) in den folgenden:

$$dq = \frac{\mu J h r \sin^2\eta}{4D^2 \sin\alpha}\, d\gamma \Big\{ (1 - \cos 2\alpha) \sin v - 2 \sin\alpha \cos\alpha \cos v$$
$$+ \left(v + \alpha - \frac{\pi}{2}\right)\{\cos(2\alpha + v) - \cos v\}\Big\} \;.$$

Es ist aber:

$$1 - \cos 2\alpha = 2 \sin^2\alpha$$
$$\cos(2\alpha + v) - \cos v = -2 \sin(\alpha + v) \sin\alpha$$

folglich:

$$dq = \frac{\mu J h r \sin^2\eta}{2D^2}\, d\gamma \left\{\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - v\right) \sin(\alpha + v) - \cos(\alpha + v)\right\}$$

Wenn man hierin an Stelle von α den Winkel β einführt, um welchen die Seite einer Erhebung gegen den Horizont der letzteren geneigt ist, wobei alsdann:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \beta$$

so nimmt der Ausdruck für dq die folgende, einfache Gestalt an:

$$dq = \frac{\mu J h r \sin^2\eta}{2D^2}\, d\gamma \{\sin(v - \beta) - (v - \beta) \cos(v - \beta)\} \quad . \ (44)$$

Lässt man die Erhebungen auf dem Cylinder verschwinden, d. h. wird der Elevationswinkel ihrer Seitenflächen

$$\beta = 0$$

so muss aus der obigen Formel sich sofort diejenige für einen homogenen Cylinder ergeben, was, mit Rücksicht auf den oben (p. 40) für für diesen Fall erhaltenen Ausdruck (9), in der That auch der Fall ist.

27.

Die oben erhaltene Formel (44) kann indessen noch nicht der wahre Ausdruck des Gesetzes sein, nach welchem sich die Lichtmengen des Mondes bei verschiedenen Elongationen ändern, indem alsdann jener Ausdruck erst für $v = 0$ verschwinden dürfte, während er, wie man sieht, schon für $v = \beta$ verschwindet. — Es hängt jedoch dieser Umstand eng und nothwendig mit den Voraussetzungen zusammen, von denen wir bei Entwickelung unserer Formel ausgegangen sind.

Es wurde nämlich die Annahme gemacht, dass je zwei Erhebungsseiten in einer vollkommen scharfen Kante zusammenstossen, so dass bei einer nur einigermassen kleinen Elongation kein Licht mehr mit einem über eine gewisse Grenze hinaus liegenden Emanationswinkel ausgesandt werden kann.

Die obige Formel bestimmt nun den Grenzwerth dieses Winkels näher und zeigt, dass derselbe gleich β ist, zu welchem Resultat man auch leicht durch geometrische Betrachtung auf folgende Weise gelangen kann.

Bezeichnet T (Fig. 4, Taf. II) diejenige Erhebung, für welche der Emanationswinkel der Seite Tt gleich $\frac{\pi}{2}$ ist[1]) oder, was dasselbe ist, welche, von $d\gamma$ aus betrachtet, gerade durch perspectivische Verkürzung verschwindet, so wird offenbar von keiner Erhebung mehr Licht nach $d\gamma$ gelangen können, wenn die Richtung der Sonnenstrahlen senkrecht zu TM steht.

Denn ist CT ein Strahl von der angegebenen Richtung, so ist für alle Flächen erster Gattung der Incidenzwinkel grösser als $\frac{\pi}{2}$ d. h. sie liegen in ihrem eigenen Schatten, und alle überhaupt von $d\gamma$ sichtbaren Flächen zweiter Gattung liegen im Schatten ihrer Nachbar-Erhebungen. Da nun aber für die betrachtete Erhebung

$$Tt \text{ parallel } MP$$

und

$$MS \text{ parallel } TC$$

so folgt:

$$\varepsilon = PMS = tTC = \frac{\pi}{2} - \alpha = \beta$$

also dieselbe Bedingung, welche oben aus (44) analytisch abgeleitet wurde.

Die erwähnte Annahme von vollkommen scharfen Kanten der Erhebungen, welche zu diesem Resultate führt, widerspricht aber auch an sich den Verhältnissen in der Natur, indem jeder Berg nothwendig einen mehr oder weniger stark abgestumpften Gipfel haben muss, so dass für den Fall einer beträchtlich schiefen Incidenz der Sonnenstrahlen von jenen Abstumpfungsflächen allein Licht reflec-

---

1) Vorausgesetzt, dass man, wie in obiger Formel (44), Winkelgrössen vernachlässigt, welche Bruchtheile von λ sind.

tirt wird, während die Seitenflächen der Erhebung theils perspectivisch verdeckt, theils beschattet sind.

Um auch dieser Bedingung zu genügen, braucht man die Erhebungen des cannelirten Cylinders nur mit Abstumpfungsflächen zu versehen, welche Theile einer, mit einem grösseren Radius um die Axe beschriebenen, Cylinderfläche sind, wie dies bei einigen Erhebungen auf der unteren Seite von Fig. 4, Taf. II angedeutet ist.

Es würde jedoch für den Zweck der vorliegenden Untersuchungen zu weit führen, wollte ich mich hier auf eine strenge Herleitung einer Formel auch für einen so beschaffenen Cylinder einlassen, um so mehr, als für den Umfang der von mir photometrisch beobachteten Mondphasen schon die oben gegebene Formel (44) vollkommen den Beobachtungen genügt.

Man ist indessen vielleicht durch folgende Betrachtungen berechtigt, sich vorläufig eine Art empirischer Formel zu construiren, deren Verification einer strengeren Untersuchung vorbehalten bleiben muss. — Lässt man nämlich zunächst die Lichtmengen unberücksichtigt, welche von den Seitenflächen der abgestumpften Erhebungen ausgesandt werden, und betrachtet lediglich die von den Abstumpfungen ausgehende Lichtmenge, so ist einleuchtend, dass sich diese Lichtquantität gemäss der Function

$$\sin v - v \cos v$$

ändern muss, d. h. nach demselben Gesetz, nach welchem sich die von den Phasen eines homogenen Cylinders ausgesandten Lichtmengen ändern. Es wird daher die fragliche Formel nothwendig ein Glied enthalten von der Form

$$B\,(\sin v - v \cos v)$$

wo B eine Constante bedeutet, welche von der Grösse der angenommenen Abstumpfungsflächen abhängt.

Es fragt sich nun, von welcher Gestalt das andere Glied der Formel sein wird, welches die von den geneigten Seitenflächen der Erhebungen ausgehende Lichtmenge ausdrückt. Ohne genauere Untersuchung kann diese Frage nicht entschieden werden, indessen wollen wir annehmen, es lasse sich jenes Glied unter die Form bringen:

$$A\,[\sin(v-\beta) - (v-\beta)\cos(v-\beta)]$$

worin β, wie früher, den Elevationswinkel der geneigten Flächen und A eine zweite Constante bedeutet. Alsdann würde die in Rede stehende Formel für einen mit abgestumpften Erhebungen versehenen Cylinder die folgende Gestalt annehmen:

$$(45)\quad \begin{cases} dq = \dfrac{\mu J h r \sin^2\eta}{2D^2}\, d\gamma\, \{A\,[\sin(v-\beta) - (v-\beta)\cos(v-\beta)] \\ \qquad\qquad + B\,[\sin v - v\cos v]\}\,. \end{cases}$$

Dieser Ausdruck muss sich nun sowohl für $A = 0$ als auch für $\beta = 0$ in denjenigen für einen homogenen Cylinder, Gl. (9), verwandeln; andrerseits muss er aber auch für $B = 0$ wieder in denjenigen übergehen, welcher oben in (44) für einen scharfkantig cannelirten Cylinder abgeleitet wurde. Um allen diesen Bedingungen zu genügen wollen wir setzen

$$A + B = 1$$

so dass jetzt, mit Berücksichtigung des früher (p. 38) bewiesenen Satzes und der p. 51 angestellten Betrachtungen über die Ungleichheit der Mondoberfläche, der obige Ausdruck sich für eine mit abgestumpften Erhebungen versehene Kugel in den folgenden verwandelt:

$$(46)\quad \begin{cases} dq = \dfrac{2\mu J h r \sin^2\eta}{3D^2}\, d\gamma\, \{A\,[\sin(v-\beta) - (v-\beta)\cos(v-\beta)] \\ \qquad\qquad + (1-A)\,[\sin v - v\cos v]\}\,. \end{cases}$$

Für $A = 1$ drückt diese Formel die Lichtmengen aus, welche von den Phasen einer mit nicht abgestumpften Erhebungen bedeckten Kugel ausgesandt werden. Setzt man demnach diese scharfe Zuspitzung der Erhebungen voraus, so lässt sich die in jenem Ausdruck enthaltene Beziehung des Winkels v zum Elevationswinkel β in folgendem Satze aussprechen:

Die Erleuchtung eines sehr weit entfernten Flächenelementes durch die Phase einer mit nicht abgestumpften Erhebungen bedeckten Kugel ist gleich der Erleuchtung durch eine homogene Kugel, welche sich in einer, um den Elevationswinkel jener Erhebungen verminderten, Phase befindet.

Dieser Satz gilt also, strenge genommen, nur für einen idealen Fall, wogegen die oben construirte Formel (46) allen in der Natur gegebenen Bedingungen entspricht, so weit sich dieselben theoretisch unter Voraussetzung der LAMBERT'schen Principien[1]) und bei Abwesenheit einer merklich lichtreflectirenden Atmosphäre übersehen lassen. Selbstverständlich müssen hierbei, nach der Natur der betrachteten Grössen, negative Werthe der beiden Glieder gänzlich unberücksichtigt bleiben, so dass z. B. das erste, mit A behaftete, Glied als verschwunden zu betrachten ist, sobald v kleiner als β geworden ist.

Es wird sich im folgenden Theile, bei Anwendung der erhaltenen Formel auf die Beobachtungen zeigen, dass, wenigstens beim abnehmenden Monde, für die Phasen von der Opposition bis in die Nähe der Quadraturen schon das erste Glied genügt, um die Beobachtungen befriedigend darzustellen. Dagegen macht sich beim zunehmenden Monde, in der Nähe des ersten Viertels, bereits ein Einfluss des zweiten Gliedes deutlich bemerkbar, so dass in Betreff der kleineren Phasen, eine genauere und strenge Untersuchung der Abstumpfungsflächen geboten erscheint.

Da die unteren Planeten, Venus und Mercur nie in der Opposition, sondern meistens bei verhältnissmässig nur kleiner Phase beobachtet werden können, so wird für diese Planeten das zweite Glied unserer Formel (46) prävaliren, und es ist einleuchtend, wie alsdann die LAMBERT'sche Formel annähernd befriedigende Resultate liefern muss.

1) Wodurch also jede spiegelnde Reflexion ausgeschlossen ist.

III.

METHODE

UND

RESULTATE DER BEOBACHTUNGEN.

28.

Es mögen hier zunächst einige allgemeinere Bemerkungen über die besondere Beschaffenheit der in Folgendem zur Sprache kommenden Beobachtungen ihren Platz finden, um dadurch diejenigen Umstände näher zu bezeichnen, welche mir im Allgemeinen bei der Construction der photometrischen Apparate und der Anordnung der Beobachtungen als leitende Principien gedient haben.

Da es ursprünglich nur meine Absicht war, das Helligkeitsverhältniss von Sonne und Vollmond zu bestimmen, so handelte es sich vor Allem darum, ein für so grosse Helligkeitsunterschiede brauchbares Photometer zu construiren.

Indem nun die beiden hier in Betracht kommenden Himmelskörper nie gleichzeitig photometrisch beobachtet werden können, so war die Möglichkeit jeder directen Vergleichung ausgeschlossen und mithin die Einführung einer künstlichen Lichtquelle eine nothwendige Bedingung der anzuwendenden Methode.

Einer solchen Lichtquelle hatte ich mich bereits bei meinen Untersuchungen über die relativen Intensitätsverhältnisse der Fixsterne in Form einer Gasflamme bedient, deren Höhe durch ein kleines Fernrohr mit Fadenkreuz controlirt werden konnte[1]).

Obgleich für diese Untersuchungen nur eine Constanz der Flamme für die Dauer einiger Beobachtungen erforderlich war, so hatte ich es dennoch nicht unterlassen, sowohl durch zahlreiche Beobachtungen bei der Prüfung meines Instrumentes als auch bei den eigentlichen Beobachtungen an Sternen den Beweis zu liefern, dass die angewandte Flamme für die Dauer von 4 bis 5 Stunden, mit Rücksicht

1) Grundzüge einer allg. Photometrie des Himmels. Berlin 1861, p. 17—20.

auf die Grenzen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler, als vollkommen constant zu betrachten sei. Erst nach Ablauf dieser Zeit liess sich mit Hülfe des erwähnten Fernrohres eine Abnahme der Flammenhöhe bemerken, die jedoch leicht durch weiteres Oeffnen des Gashahnes wieder auf ihre ursprüngliche Höhe gebracht werden konnte (vgl. l. c. p. 20).

Mit Rücksicht auf die dennoch mehrfach hierüber gegen mich geäusserten Bedenken muss es mir im hohen Grade erfreulich erscheinen, gerade durch die folgenden Beobachtungen den Beweis liefern zu können, dass die früher behauptete und durch Versuche bewiesene Constanz der Lichtquelle nicht nur für ein und denselben Abend, sondern, mit Anwendung gewisser Vorsichtsmassregeln, eigentlich zu jeder Zeit vorausgesetzt werden darf. Ich habe hierbei sogar mit Erfolg die Gaslampe durch eine besonders construirte und mit Erdöl (Petroleum) gespeiste Lampe ersetzen können, wodurch der Apparat noch um Bedeutendes an Bequemlichkeit in seiner Handhabung gewonnen hat.

Ein zweites Erforderniss war die Möglichkeit einer sehr bedeutenden und messbaren Abschwächung des Sonnenlichtes. Ich erreichte letzteres theils durch Anwendung mehrfach über einander gelegter und sorgfältig ausgesuchter grauer Gläser (*London smoke-glass*), wie diese jetzt vielfach als Brillengläser in den Handel kommen, theils durch polarisirende Vorrichtungen.

Die hierbei nothwendig vorauszusetzende Richtigkeit des $\cos^2$-Gesetzes konnte durch eine besondere Construction des Photometers bei den Beobachtungen selbst jederzeit controlirt werden, so dass hierdurch auch die Bedenken derjenigen beseitigt werden, welche im Allgemeinen noch nicht von der Richtigkeit jenes Gesetzes innerhalb der hier nothwendigen Grenzen überzeugt sind.

29.

Mit Rücksicht auf diese Bedenken ist es bemerkenswerth, dass in neuester Zeit, durch eine sehr sorgfältige Untersuchung WILD's[1]), das oben erwähnte $\cos^2$-Gesetz eine Bestätigung seiner Richtigkeit

1) Photometrische Untersuchungen. Pogg. Ann. Bd. CXVIII, p. 193—240 (1863).

erhalten hat, welche weit über die Grenzen der bei astrophotometrischen Beobachtungen erforderlichen Genauigkeit hinausgeht.

Es erscheint daher geboten, auf den wesentlichsten Punct dieser Arbeit hier etwas näher einzugehen, um so mehr, als es sich um die Unterscheidung zweier optischen Gesetze handelt, die bisher, als sich empirisch gegenseitig bedingend, sehr häufig auch mit demselben Namen bezeichnet wurden, ein Umstand, welcher, nach dem Erscheinen der oben angeführten Untersuchung WILD's, bei Beurtheilung meines Photometers zu Missverständnissen Anlass geben könnte.

WILD beweist nämlich mit Hülfe seines sehr empfindlichen Photometers, dass das »MALUS'sche Gesetz« beim Kalkspath nicht strenge richtig sei; gleichzeitig wird von ihm darauf hingewiesen, dass mehrere Physiker auf diesem Gesetz die Construction von Photometern basirt haben (l. c. p. 224), obgleich in Folge der nachgewiesenen Unrichtigkeit jenes Gesetzes der hierdurch entstehende Fehler bis auf $\frac{1}{20}$ der verglichenen Lichtmengen gehen kann (l. c. p. 237).

Das fragliche Gesetz, um welches es sich hier handelt, besteht nun aber darin, dass nach demselben das Intensitätsverhältniss der beiden senkrecht zu einander polarisirten Lichtstrahlen, in welche ein auf die Seitenflächen eines Kalkspathrhomboëders senkrecht auffallender und geradlinig polarisirter Lichtstrahl zerlegt wird, stets durch das Quadrat der Tangente (resp. Cotangente) desjenigen Winkels ausgedrückt wird, welchen die Polarisationsebene des auffallenlenden Strahles mit dem Hauptschnitt des Kalkspathrhomboëders macht.

Bezeichnet man also diesen Winkel mit φ, die Amplitude des extraordinairen Strahles mit E, die des ordinairen mit O, so müsste nach dem MALUS'schen Gesetze stets der folgenden Gleichung genügt werden:

$$\frac{E^2}{O^2} = \operatorname{tang}^2\varphi \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

WILD dagegen zeigt, dass, in Uebereinstimmung mit der von NEUMANN gegebenen Theorie [1]) dieser Erscheinung, an Stelle der obigen Gleichung die folgende gesetzt werden muss:

1) Mathem. Abhandlungen der Berl. Acad. v. J. 1835.

$$(2) \quad \ldots\ldots\ldots \quad \frac{E^2}{O^2} = C \operatorname{tang}^2 \varphi$$

Nach der erwähnten Theorie ist nämlich:

$$(3) \quad \ldots \quad \begin{cases} E^2 = \dfrac{16\,[a^2 - (a^2 - c^2)\sin^2\nu]}{[1 + \sqrt{a^2 - (a^2 - c^2)\sin^2\nu}]^4}\, Q^2 \sin^2\varphi \\ O^2 = \dfrac{16\,a^2}{(1+a)^4}\, Q^2 \cos^2\varphi \end{cases}$$

Hierbei bedeuten a und c die reciproken Brechungsverhältnisse des ordinairen und extraordinairen Strahles, ν den Winkel des Einfallslothes mit der optischen Axe und Q die Amplitude des gradlinig nach dem Azimuthe φ polarisirten, auffallenden Strahles.

Wie man sieht, resultirt aus den in (3) gegebenen Ausdrücken für E^2 und O^2 nur in dem Falle die Gleichung:

$$\frac{E^2}{O^2} = \operatorname{tang}^2 \varphi$$

wenn

$$a^2 - c^2 = 0$$

d. h. die Beobachtungen werden sich um so mehr dem Malus'schen Gesetze anschliessen müssen, je geringer die Doppelbrechung der angewandten, polarisirenden Medien ist. — Da sich nun die Intensitäten der beiden Strahlen stets wie die Quadrate ihrer Amplituden verhalten, so müsste nach dem Malus'schen Gesetze in obiger Gleichung für $\varphi = 45^0$ auch $E^2 = O^2$ sein.

An Stelle dessen findet aber Wild aus seinen Beobachtungen:

$$\varphi = 44^0\,36' \quad \text{mittlerer Fehler: } \pm 0.'5$$

und demgemäss mit Hülfe von Gleichung (2):

$$C = 1.0283 \quad \text{mittlerer Fehler: } \pm 0.0015 \,.$$

Die mit Hülfe der obigen Formeln aus den anderweitig bestimmten Werthen von a, c und ν theoretisch berechneten Grössen für φ und C geben aber:

$$\varphi = 44^0\,38'$$
$$C = 1.0259 \,.$$

Diese befriedigende Uebereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung kann nun, wie Wild mit Recht behauptet, vorläufig

als eine Bestätigung der NEUMANN'schen Theorie betrachtet werden und mithin auch derjenigen Gesetze, welche jene Theorie nothwendig involvirt. Ein sehr wesentliches dieser Gesetze besteht nun aber in dem sogenannten Cosinusquadrat-Gesetze, oder in der Bedingung, dass sich jeder der Werthe E^2 und O^2 proportional den Sinus-, resp. Cosinusquadraten des Winkels φ ändere, wie dies unmittelbar aus den oben gegebenen Ausdrücken (3) für E^2 und O^2 hervorgeht.

Da ich bei meinem Photometer ausschliesslich NICOL'sche Prismen anwende, bei denen bekanntlich nur der extraordinäre Strahl zur Wirkung gelangt, so braucht hierbei auch nur jenes Cosinusquadrat-Gesetz als gültig vorausgesetzt zu werden und nicht das MALUS'sche Gesetz.

Durch die schöne Uebereinstimmung der von WILD erhaltenen Resultate mit NEUMANN's Theorie ist aber, wie bemerkt, auch das Cosinusquadrat-Gesetz für einen bestimmten Fall ($\varphi = 44^0$) als richtig erwiesen, und wenn man bedenkt, dass die theoretischen Ableitungen NEUMANN's sich auf eine Anzahl von Principien stützen, welche bereits durch viel genauere Beobachtungen bestätigt worden sind, als dies auf photometrischem Wege möglich ist, so wird man nach den Gesetzen der Induction genöthigt sein, die Richtigkeit des Cosinusquadrat-Gesetzes auch für alle übrigen Werthe des Winkels φ anzunehmen. Die Zulässigkeit dieser Annahme ist in der That, sowohl in den vorliegenden als auch in den früher von mir veröffentlichten Untersuchungen, durch zahlreiche Beobachtungen bestätigt worden.

30.

Zu den folgenden Beobachtungen habe ich mich zweier verschiedener Apparate bedient, welche sich wesentlich durch die Form der im Gesichtsfelde des Photometers verglichenen Bilder unterscheiden.

Bei der ersten Methode wird die Helligkeit zweier unmittelbar an einander grenzenden Flächen, bei der zweiten dagegen diejenige von leuchtenden Puncten mit einander verglichen; erstere beruht

auf dem bereits im Jahre 1857 von mir mitgetheilten Principe[1]), letztere auf der Construction meines Astrophometers.

Obgleich der wahrscheinliche Fehler einer Einstellung bei der ersten Methode unter günstigen Verhältnissen[2]) bedeutend geringer als bei der zweiten ist, so hat sich hierdurch in Betreff der zu verschiedenen Zeiten an Sonne und Mond angestellten Beobachtungen doch kein wesentlicher Vortheil ergeben, indem die Einflüsse, welche von Schwankungen in der Durchsichtigkeit der Atmosphäre herrühren, grösser sind, als die photometrisch erreichbare Genauigkeit. Nach den neuesten Untersuchungen SEIDEL's[3]) betragen bei ziemlich vorsichtiger Auswahl der Beobachtungsnächte jene Schwankungen durchschnittlich etwa $\frac{1}{10}$.

Ich muss daher auch vollkommen mit SEIDEL übereinstimmen, wenn derselbe behauptet (l. c. p. 594), dass man die nächsten Verbesserungen der an Gestirnen erhaltenen photometrischen Resultate nicht sowohl von der Anwendung genauerer Methoden als von einer anderen Verarbeitung des Beobachtungsmaterials zu erwarten habe, welche mehr auf jene atmosphärischen Einflüsse Rücksicht nimmt.

Das in der oben citirten Abhandlung von WILD bei seinem Photometer angewandte, und zuerst von ARAGO vorgeschlagene, photometrische Princip gestattet sehr wahrscheinlich das höchste Mass von Genauigkeit, welches überhaupt auf diesem Gebiete erreichbar ist. Es beträgt nämlich der wahrscheinliche Fehler einer nur einmaligen Einstellung jenes Photometers nicht mehr als $\frac{1}{1000} - \frac{2}{1000}$ des gemessenen Intensitätsverhältnisses.

Indessen wäre es offenbar so lange ganz überflüssig, diese Methode bei astrophotometrischen Bestimmungen anzuwenden, ehe man

---

1) POGGEND. Ann. C. 381—394.

2) Die Berührung der bei diesem Principe angewandten Flächen ist so vollkommen, dass, bei Farbengleichheit der verglichenen Lichtmengen, dem Beobachter sich die eingetretene Gleichheit der Flächen durch eine optische Täuschung ankündigt, indem das Gesichtsfeld plötzlich vollkommen homogen, als leuchtende Scheibe erscheint. — Bekanntlich ist dies beim STEINHEIL'schen Photometer nicht der Fall, indem hier die verglichenen Lichtflächen durch schmale Beugungslinien getrennt sind.

3) SEIDEL, Resultate phot. Messungen etc. p. 508. München 1862. Acad. Abhandl.

nicht die Mittel besitzt, die Schwankungen in der relativen Durchsichtigkeit der Atmosphäre in verschiedenen Nächten mit derselben Genauigkeit zu bestimmen. Hierzu wäre aber zweierlei erforderlich: erstens eine innerhalb derselben Grenzen constante irdische Lichtquelle, und zweitens die Beobachtung von Helligkeitsverhältnissen an Fixsternen in Bezug auf jene Lichtquelle. Man brauchte alsdann nur die Beobachtungen an denselben Sternen in verschiedenen Nächten zu wiederholen, um aus dem Unterschiede der Einstellungen bei demselben Sterne, die Unterschiede der atmosphärischen Absorption zu berechnen. Indem man zu diesen Bestimmungen eine grössere Anzahl von Sternen benutzt, wird man zugleich ein Kriterium für die etwaige Variabilität eines dieser Sterne besitzen, um einen solchen alsdann bei derartigen Bestimmungen auszuschliessen.

Man ist also hierbei jedenfalls auf die photometrische Beobachtung von Sternen angewiesen und es würde sich nun darum handeln, das ARAGO'sche Princip auch auf die Helligkeitsbestimmung von Gestirnen anzuwenden. — Dies scheint mir jedoch bei der verhältnissmässig grossen Lichtstärke, welche das WILD'sche Photometer erfordert und bei der dabei durchaus nothwendigen Benutzung von leuchtenden Flächen, für immer unmöglich zu sein. Denn eine nach STEINHEIL's Princip bewirkte Ausbreitung des Fixsternlichtes in Flächen würde, ganz abgesehen von dem störenden Einfluss des Scintillirens, eine viel zu bedeutende Schwächung des Lichtes herbeiführen, um die Fransen des SAVART'schen Polariskops, dessen sich WILD bedient, mit der hier erforderlichen Schärfe beobachten zu können. — Die oben angeführten Werthe des wahrscheinlichen Fehlers einer Einstellung beim WILD'schen Photometer beziehen sich übrigens, wie der Verfasser ausdrücklich hervorhebt (l. c. p. 220), nur auf Beobachtungen, wo die verglichenen Papierscheiben durch die mittlere Helligkeit des diffusen Himmelslichtes erleuchtet sind.

Eine zweite Grenze wird aber auch der Genauigkeit photometrischer Beobachtungen am Himmel durch die Abhängigkeit der atmosphärischen Lichtabsorption von der Höhe des beobachteten Gestirnes gesteckt.

Eine genauere Kenntniss dieser Abhängigkeit verdanken wir den schätzbaren Untersuchungen SEIDEL's, welcher bereits in seiner

ersten Arbeit auf diesem Gebiete[1]) eine »Tafel für die Extinction des Lichtes in der Atmosphäre« gegeben hat, in welcher die Grössen der Absorption, bezogen auf diejenige im Zenith, als logarithmische Functionen der Zenithdistanz aufgeführt sind. Indem ich mich dieser Tafel bei der Reduction meiner Beobachtungen ausschliesslich bedient habe, werde ich weiter unten Gelegenheit finden, eine Reihe von Beobachtungen an der Sonne und Sternen mitzutheilen, welche die Richtigkeit der SEIDEL'schen Extinctionstabelle auch für den Horizont von Leipzig sehr befriedigend bestätigen. Es ergiebt sich hieraus das sehr beachtenswerthe Resultat, dass ich mit meinem Photometer durchschnittlich für das Intensitätsverhältniss zweier bestimmter Lichtmengen denselben Werth wie SEIDEL mit dem STEINHEIL'schen Photometer erhalten muss. Wäre dies nicht der Fall, so könnte die Reduction meiner Beobachtungen auf's Zenith nach der SEIDEL'schen Tafel unmöglich so befriedigende Resultate liefern.

Gleichzeitig hat nun aber auch SEIDEL durch die klassische Discussion des von ihm gesammelten Beobachtungsmaterials neuerdings den Beweis geliefert, dass noch andre störende Einflüsse in der Atmosphäre vorhanden sein müssen, welche die Grösse des ohne Rücksicht auf die letzteren ermittelten wahrscheinlichen Fehlers jener Extinctionstafel so weit erhöhen, dass derselbe wiederum grösser ist, als die durch die photometrischen Beobachtungen an sich zu erzielende Genauigkeit[2]).

Hiernach gewinnt es also den Anschein, als ob die Astrophotometrie hinsichtlich ihrer instrumentalen Hülfsmittel bereits in jenes Stadium getreten sei, in welchem sich in unseren Tagen die beobachtende Astronomie bezüglich der optischen Kraft ihrer Messinstrumente befindet. Denn auch hier wächst bei Anwendung stärkerer Vergrösserungen die durch atmosphärische Einflüsse bedingte »Unruhe der Bilder« in so hohem Grade, dass hierdurch die Vortheile der Vergrösserung für die Messungen wieder aufgehoben werden.

1) Unters. über die gegenseitigen Hell. d. Fixsterne. 1852 p. 43.
2) Resultate etc. München. Acad. Abh. 1862, p. 594.

31.

Es mag nun hier zunächst die Beschreibung des **ersten** der beiden angewandten Photometer folgen und zwar desjenigen, bei welchem die Gleichheit isochromatischer Lichtmengen an dem Verschwinden der Grenze zweier sich unmittelbar berührender Flächen erkannt wird.

Es stelle die Figur (Fig. 1, Taf. III) einen verticalen Durchschnitt des Apparates dar, der um seine horizontale Axe AB in einem Stativ C drehbar ist.

Auf der horizontalen Axe befinden sich, wenn man von links nach rechts geht, der Reihe nach folgende Objecte:

a die Flamme einer Petroleumlampe,

b eine Convexlinse,

c ein kleiner Silberspiegel.

Die verticale Axe DE durchschneidet folgende Theile des Apparates:

d einen Polarisationsspiegel von schwarzem Glase, dessen Ebene senkrecht zu einer durch DE normal zur Papierfläche stehenden Ebene liegt und mit der Axe des Instrumentes den Polarisationswinkel für Glas macht.

e eine planparallele, senkrecht zur Axe stehende, Glasplatte,

f einen Polarisationsspiegel von schwarzem Glase, welcher normal zur Ebene des Papiers steht und mit der Axe den Polarisationswinkel für Glas einschliesst,

g eine Convexlinse,

h ein Nicol'sches Prisma, welches um die Axe DE drehbar ist und dessen Lage an einem in 0,1 Grade eingetheilten Kreise *i* bestimmt werden kann.

Ist nun die Linse *g* für ein in *o* befindliches Auge auf die scharfe Kante des Spiegels *f* eingestellt, welche das kreisförmige Gesichtsfeld gerade halbiren möge, so sind die beiden Hälften des Feldes durch senkrecht zu einander polarisirte Lichtmengen erleuchtet, deren Intensitätsverhältniss durch das Quadrat der Tangente (resp. Cotangente) desjenigen Winkels gemessen wird, bei welchem, durch das Nicol'sche Prisma betrachtet, der Unterschied der beiden Hälften verschwindet und das Gesichtsfeld homogen erscheint.

Die Brennweite und Stellung der Linse *b* sind so regulirt, dass die von *a* durch ein, 9^{mm} im Durchmesser fassendes, Diaphragma *r* ausgehenden und von *c* nach *f* reflectirten Strahlen parallel auf die Netzhaut des Auges gelangen und daher die ganze, von *o* aus sichtbare Fläche des Spiegels *f* gleichförmig und intensiv beleuchtet erscheint.

In Figur 1^a, Taf. III ist noch eine Skizze der Seiten-Ansicht von dem verticalen Theile des Photometers dargestellt. Hier bedeutet *p* eine matte Glasplatte, auf welche die zu bestimmende Lichtmenge auffällt, bevor sie durch den Spiegel *d* polarisirt wird.

Der ganze Apparat lässt sich nun auch um die verticale Axe des Stativs drehen, so dass man der Hauptaxe *CD* jede beliebige Lage gegen den Horizont geben kann.

Man würde nun aber mit dem hier beschriebenen Photometer auf jede Vergleichung des Sonnen- und Mondlichtes verzichten müssen, wenn es nicht möglich wäre, durch ein sehr einfaches Mittel die Farbe der Flamme nahezu mit der Farbe des Sonnen- oder Mondlichtes, die unter sich sehr nahe übereinstimmen, gleich zu machen. Es besteht dies Mittel darin, dass man das Lampenlicht durch eine Platte von blauem Kobaltglase gehen lässt, das man nach einiger Auswahl sehr bald von dem geeigneten Farbentone findet.

Die Vollkommenheit, mit der es hierdurch gelingt, die röthlich gelbe Farbe einer Flamme in das schönste Weiss zu verwandeln, überrascht namentlich, wenn man diesen Versuch am Tage, bei gleichmässig bedecktem Himmel, anstellt. Die alsdann der Flamme durch das blaue Glas ertheilte Farbe stimmt so vollständig mit derjenigen des Himmels überein, dass nur eine sehr genaue Vergleichung, wie sie das soeben von mir beschriebene Photometer gestattet, kleine Farbenunterschiede erkennen lässt, die jedoch die photometrischen Bestimmungen, innerhalb der hier erforderlichen Grenzen, in keiner Weise beeinträchtigen. Selbstverständlich ist die Höhe der Sonne hierbei nicht gleichgültig, indem bei einigermassen niedrigem Stande derselben bereits die Farben der atmosphärischen Refraction ihren Einfluss geltend machen.

Solcher blauen Gläser hatte ich mich übrigens bereits vor vier Jahren bei meinen photometrischen Bestimmungen an Fixsternen

bedient, ehe es mir gelungen war, mit meinem Astrophotometer ein einfaches Polarisations-Colorimeter zu verbinden.

Schon damals machte ich darauf aufmerksam, wie überraschend durch Anwendung eines solchen Kobaltglases den, durch Gaslicht erzeugten, künstlichen Sternen eine mit der mittleren Sternfarbe übereinstimmende Färbung ertheilt werden könne[1]).

Bei den neuesten Beobachtungen des amerikanischen Astronomen P. Bond, Director der Sternwarte in Cambridge, welcher fast gleichzeitig mit mir, im Jahre 1860, photometrische Vergleichungen zwischen Sonne, Mond und Sternen angestellt hat[2]), auf welche ich weiter unten noch ausführlicher zurückkommen werde, würden ebenfalls künstliche Lichtquellen angewandt, und zwar einerseits eine Moderateurlampe[3]), von deren Flamme mit Hülfe eines Diaphragmas nur der hellste Theil zu den Vergleichungen benutzt wurde, andrerseits ein sogenanntes »*Bengola light*« oder »*blue-light*«, d. h. eine blaue, bengalische Flamme. Das Licht einer solchen Flamme soll nach Bond am besten mit der Farbe des Sonnen- und Mondlichtes übereinstimmen.

Indem Bond gleichzeitig noch die Farbe anderer künstlicher Lichtquellen mit der Farbe des Sonnen- und Sternenlichtes vergleicht, bemerkt er bezüglich des durch die angegebene Methode erzeugten weissen Lichtes, folgendes (l. c. p. 229):

> »The whitest part of the flame of the Carcel or French »moderateur« lamps is decidedly red, contrasted with the image of the moon; that of a candle or common oil-lamp appears of a dingy, yellowish red. The Drummond light is of a golden yellow when contrasted with sunlight. *I have not recognized, in point of color, any considerable difference between the light of the Moon. Jupiter, Venus, and the Sun, when tested by this method.*

Bei meinem oben beschriebenen Photometer ist das erwähnte blaue Glas in der kreisförmigen Oeffnung (Fig. 1, Taf. III) des Blech-

---

1) Photometrie des Himmels p. 16 Anmerk.

2) George P. Bond, On the results of photometric experiments upon the light of the Moon and of the planet Jupiter, made at the Observatory of Harvard College. Cambridge 1861. (Mem. of the Am. Acad. New Series Vol. VIII.)

3) Eigentlich »Carcel-lamp«, bei welcher das Oel mit Hülfe eines Uhrwerks zum Docht gepumpt wird (vgl. l. c. p. 229).

mantels angebracht, welcher die Flamme, ausser dem Glascylinder, zur Abhaltung alles störenden Lichtes umgiebt.

Zur Regulirung der Flammenhöhe bediente ich mich einer Methode, welche bei dem hier in Anwendung gebrachten grossen Diaphragma *r* von 9^{mm} Durchmesser weit genauer die Herstellung einer an verschiedenen Tagen gleichen Beleuchtung des Spiegels *f* gestattet, als die bei kleinem Diaphragma angewandte Controle durch ein Fernrohr mit Fadenkreuz.

Das Verfahren besteht einfach in Folgendem. Vor dem Beginn der eigentlichen Beobachtung wurde zuerst das Photometer auf eine beliebige Lichtquelle eingestellt und alsdann, bei beliebiger Flammenhöhe, die Gleichheit der beiden Hälften des Gesichtsfeldes durch Einstellung des Kreises bewirkt. Alsdann wurde die Flammenhöhe bei unverwandtem Blick in das Photometer so lange verändert, bis sie ihr Maximum der Helligkeit zeigte, was sich sehr schnell und scharf in der angegebenen Weise erkennen lässt. Sobald nämlich hierbei die von einem platten (nicht cylindrischen) Dochte erzeugte Flamme eine gewisse Höhe überschreitet, kommt der unmittelbar am Docht befindliche, dunkle Theil vor das Diaphragma und schwächt dem entsprechend die einfallende Lichtmenge. Ich hatte anfangs, gleichzeitig mit diesen Einstellungen, die Flammenhöhe mit Hülfe eines Kathetometers gemessen, und fand, dass man durch die angeführte Methode beträchtlich genauer gleiche Lichtmengen erhält, als durch die Controle der Flammenhöhe mittelst eines Fernrohrs.

Der Einfluss, welchen das öfter nothwendige Abschneiden des Dochtes auf den Glanz und die Gestalt der Flamme ausübt, ist vollkommen unmerklich, so lange man nur einigermassen für Reinlichkeit und möglichst gleiche Form des Dochtes sorgt. — Bekanntlich ist bei Petroleumlampen nicht ein so häufiges Abschneiden des Dochtes erforderlich, als bei Oellampen. Ich habe durchschnittlich etwa an 4 bis 6 Abenden mit demselben Dochte beobachten können, ohne während dieser Zeit einer merklichen Veränderung gewahr zu werden. Erst wenn man den Docht mehrere Wochen hindurch nicht gereinigt und abgeschnitten hat, macht sich ein Einfluss hiervon auf den Glanz der Flamme bemerklich, indem dieselbe dann etwas röthlicher erscheint und in Folge dessen weniger Licht aussendet.

Ueber die sonstige Einrichtung der Lampe ist eigentlich nichts

weiter zu bemerken, als dass man dieselbe, durch den in der Zeichnung angedeuteten Glastrichter, sowohl mit Petroleum jederzeit speisen, als auch die Höhe des Niveaus der Flüssigkeit controliren kann.

Dass ein möglichst ruhiger Luftzutritt zur Flamme die Güte der Beobachtungen im Allgemeinen erhöhen muss, ist selbstverständlich. In dieser Beziehung hat sich ein dünner Blechmantel, welcher unmittelbar unter der Flamme die den Luftzutritt gestattenden Theile der Lampe umhüllt, als sehr zweckmässig bewährt. Dieser Blechmantel hat vier röhrenförmige Ansätze, durch welche der Flamme Luft zugeführt wird. An diesen Ansätzen können auch, wenn eine sehr ruhige Flamme erforderlich ist, noch Gummischläuche befestigt werden, welche die Luft von einem, gegen jede Luftschwankung vollkommen gesicherten, Orte zur Flamme führen. Indessen muss alsdann durch entsprechende Erhöhung des Cylinders für stärkeren Luftzug gesorgt werden, da die in den Röhren sich bewegenden Luftmassen durch Reibung eine beträchtliche Verzögerung erfahren.

Jedoch auch ganz ohne diese Vorkehrungen lassen sich durch eine nur einigermassen vorsichtige Auswahl des Beobachtungslocals alle diese Störungen vermeiden und den Beobachtungen verschiedener Nächte jede nur wünschenswerthe Uebereinstimmung ertheilen.

32.

Die Beobachtungen mit dem beschriebenen Apparate geschahen in folgender Weise. — Zunächst wurde die matte Glasplatte *p* (Fig. 1[a], Taf. III), auf welche die Sonnen- und Mondstrahlen vor ihrer Polarisation durch den Spiegel *d* fallen mussten, entfernt, und alsdann die Axe *DE* des Photometers so gestellt, dass ein Auge in *o* das von dem Spiegel *d* reflectirte Bild der Sonne oder des Mondes in der Mitte der einen Hälfte des Gesichtsfeldes erblickte. Hierbei musste die Wirkung der Linse *g*, welche auf *f* eingestellt ist, durch ein entsprechendes Concavglas vor dem Auge des Beobachters compensirt werden. Die Linse *g* ist nämlich deswegen eingeschaltet, um die kleinen Unebenheiten, welche selbst die feinsten, mattgeschliffenen Glasplatten zeigen, verschwinden zu lassen und hierdurch

die betreffende Hälfte des Gesichtsfeldes vollkommen homogen zu machen.

WILD bediente sich bei seinen oben angeführten Untersuchungen zur Erreichung desselben Zweckes, nach dem Beispiele O. HAGEN's, geölter Papierscheiben, welche durch ein Uhrwerk in schnelle Rotation versetzt wurden[1]).

Zur Abschwächung des Sonnenlichtes bediente ich mich dreier, über einander gelegter, grauer Gläser (*London smoke-glass*), die ich jedoch erst nach vielem Suchen von dem gewünschten, reinen Grau erhielt. Indessen ist auch bei den angewandten Gläsern ein schwacher Stich in's Braungrüne nicht zu verkennen, welcher jedoch die hier erforderliche Genauigkeit der photometrischen Bestimmungen nicht weiter beeinträchtigte.

Bei Beobachtung der Sonne wurde dieses zusammengesetzte Blendglas auf die Glasplatte bei *e* gelegt, dagegen bei Mondbeobachtungen, zur Abschwächung des Lampenlichtes, bei *b* befestigt (vgl. Fig. 1, Taf. III).

Um nun dem Leser zunächst die Bildung eines selbstständigen Urtheils über die Leistungsfähigkeit des vorstehend beschriebenen Photometers unter den hier vorhandenen Bedingungen zu ermöglichen, will ich eine vollständige Reihe von Beobachtungen mittheilen, welche zur Bestimmung des Absorptionscoefficienten des besagten, zusammengesetzten Blendglases angestellt wurden.

Es wurde hierbei die Sonne beobachtet und zur Abschwächung ihrer Strahlen, ausser dem Blendglase, noch eine Platte von Milchglas über der matten Glasplatte *d* (Fig. 1[a]) befestigt. Das Blendglas wurde alsdann abwechselnd bei *e* eingeschaltet und jedesmal durch entsprechende Drehung des NICOL'schen Prismas ein homogenes Gesichtsfeld im Photometer hergestellt.

Die Ablesungen wurden zur Controle der gegenseitigen Lage der Polarisationsspiegel paarweise in benachbarten Quadranten gemacht.

In der folgenden Tabelle bedeutet φ den Einstellungswinkel bei eingeschaltetem Blendglase, φ' denselben ohne Blendglas.

---

1) POGGENDORFF's Annalen CVIII, p. 216.

Der Absorptionscoëfffcient A ist alsdann gleich $\frac{\tang^2 \varphi}{\tang^2 \varphi'}$; und zwar sind die Logarithmen dieses Verhältnisses in der Tabelle angegeben[1]).

Tabelle I.

Beobachtungen
zur Bestimmung des Absorptionscoëfficienten (A) des Blendglases.

1864. Mai 20.

No. d. Beob.	φ	φ'	log A.	Abw. vom Mittel.
1	69°.5	18°.4	1.8106	− 0.0021
2	69.7	18.2	1.8300	+ 0.0173
3	69.8	18.7	1.8094	− 0.0033
4	69.4	18.1	1.8214	+ 0.0087
5	70.0	18.7	1.8188	+ 0.0061
6	69.7	18.8	1.7998	− 0.0129
7	69.8	18.0	1.8448	+ 0.0321
8	69.6	18.6	1.8052	− 0.0074
9	70.0	18.4	1.8338	+ 0.0211
10	69.7	18.9	1.7948	− 0.0179
11	69.9	18.6	1.8192	+ 0.0065
12	69.5	18.8	1.7906	− 0.0221
13	69.8	18.7	1.8094	− 0.0033
14	69.7	18.7	1.8048	− 0.0079
15	70.0	18.8	1.8138	+ 0.0011
16	69.6	18.8	1.7952	− 0.0175
17	70.3	18.6	1.8380	+ 0.0253
18	69.9	19.0	1.7992	− 0.0135
19	69.9	18.9	1.8042	− 0.0085
20	70.3	19.3	1.8116	− 0.0011
		Mittel	= 1.8127 ± 0.0022	

1) Ueber Anwendung der logarithmischen Form bei photometr. Resultaten vergl. SEIDEL, Resultate photometrischer Messungen an 208 der vorzüglichsten Fixsterne. München 1862, p. 8—11.

Hieraus ergiebt sich, dass der wahrscheinliche Fehler einer einzelnen Einstellung 2.3 Procent des gemessenen Helligkeitsverhältnisses beträgt. Demgemäss erhält man für den wahrscheinlichen Fehler des Mittels aus 20 Einstellungen 0.5 Procent jenes Verhältnisses.

Diese Genauigkeit ist also mit Rücksicht auf die oben gemachten Bemerkungen (vgl. p. 78—80) für unsere Zwecke vollkommen ausreichend.

33.

In der nun folgenden zweiten Tabelle sind die Resultate sämmtlicher Beobachtungen zusammengestellt, welche ich nach der beschriebenen (ersten) Methode von März bis Juli des Jahres 1864 an der Sonne angestellt habe.

Die Einstellungen am Photometer wurden hierbei stets mit eingeschaltetem Blendglase gemacht, ohne das bei den soeben erwähnten Absorptionsbestimmungen benutzte Milchglas anzuwenden.

Durch ein über den Kopf des Beobachters gedecktes schwarzes Tuch, welches gleichzeitig den vorderen Theil des Photometers umschloss, wurde alles störende Seitenlicht abgehalten.

Die mit φ überschriebene Columne der folgenden Tabelle enthält die Werthe der photometrischen Einstellungen, wie sich dieselben als Mittel aus der beigesetzten Anzahl der Beobachtungen ergeben.

Nach je zwei Einstellungen wurde mit Hülfe eines Prismenkreises die Sonnenhöhe gemessen und alsdann für die mittlere Beobachtungszeit die in der Tafel angeführte Zenithdistanz der Sonne berechnet.

Mit Hülfe der SEIDEL'schen Extinctionstabelle[1]) sind alsdann die in verschiedenen Höhen erhaltenen Werthe auf die Helligkeit der Sonne im Zenith reducirt.

Die hierdurch erlangte vollständige Harmonie der Beobachtungen liefert mit Rücksicht auf die bedeutende Variation der Zenithdistanz (75°—27°) den Beweis, dass die Abhängigkeit der Lichtabsorption von der Höhe des Gestirns für den Horizont

1) SEIDEL, Untersuch. über die gegens. Helligk. d. Fixsterne 1. Gr. etc. p. 33.

von München und Leipzig nicht merklich verschieden ist. Berücksichtigt man ferner, dass SEIDEL seine Extinctionstafel mit Hülfe des STEINHEIL'schen Prismenphotometers aus zahlreichen Beobachtungen an Fixsternen empirisch abgeleitet hat, so ergiebt die befriedigende Anwendbarkeit jener Tafel auf die von mir mit einem gänzlich verschiedenen Apparate erhaltenen Beobachtungen das sehr bemerkenswerthe Resultat, dass ich mit meinen Polarisationsphotometern für das Helligkeitsverhältniss zweier gleichfarbiger Lichtmengen durchschnittlich denselben Werth erhalte, wie SEIDEL mit dem STEINHEIL'schen Prismenphotometer. Dieselbe überraschend gute Anwendbarkeit der »Extinctionstafel« wird man auch bei allen, in der Folge mitzutheilenden, Beobachtungen an Sonne, Mond und Sternen bestätigt finden.

Die in der fünften Columne aufgeführten Werthe geben die Logarithmen des Helligkeitsverhältnisses der beiden Hälften des Gesichtsfeldes im Photometer, von denen, wie bemerkt, die eine Hälfte durch die Petroleumflamme mit vorgesetztem blauen Glase, die andere durch die Sonnenstrahlen erleuchtet wird, nachdem letztere auf der matten Glasplatte zerstreut, durch den Spiegel polarisirt und alsdann durch das oben erwähnte Blendglas abgeschwächt worden sind.

Die für dieses Helligkeitsverhältniss erlangten Werthe ($\tang^2 \varphi$) sind sämmtlich auf die Helligkeit der Sonne in ihrer mittleren Entfernung reducirt, wobei zu bemerken ist, dass die beiden ersten, mit einem Sternchen bezeichneten, Werthe ausserdem noch um die Zahl 0.1314 vergrössert wurden, indem ich hierbei noch nicht die oben angeführte Methode der Maximaleinstellung der Flamme angewandt, sondern damals noch die Höhe derselben direct durch ein Fernrohr controlirt hatte.

Durch eine grössere Anzahl von Beobachtungen wurde indessen das Verhältniss der, bei beiden Einstellungen ausgesandten, Lichtmengen ermittelt und die obige Zahl drückt den Logarithmus dieses Verhältnisses aus.

Tabelle II.

Photometrische Bestimmungen
des Sonnenlichtes nach der **ersten** Methode.

No.	Datum.	z	φ	Zahl der Beob.	Log. Hellig- keit der mittl. Sonne.	Abweichung vom Mittel.
1	1864. März 17. $4^h 25^m$	75°	72°.7	(14)	1.1462*	— 0.0040
2	März 18. $2^h 35^m$	62	75.5	(10)	1.1498*	— 0.0004
3	März 19. $0^h 30^m$	53	74.3	(4)	1.1540	+ 0.0038
4	März 19. $23^h 30^m$	51	73.9	(6)	1.1230	— 0.0272
5	März 22. $23^h 0^m$	54	74.3	(12)	1.1590	+ 0.0088
6	Mai 19. $23^h 30^m$	35	74.8	(6)	1.1492	— 0.0010
7	Mai 20. $20^h 30^m$	48	74.3	(12)	1.1476	— 0.0026
8	Juni 20. $23^h 20^m$	27	75.0	(10)	1.1498	— 0.0004
9	Juni 24. $20^h 30^m$	49	74.6	(6)	1.1664	+ 0.0162
10	Juli 2. $21^h 20^m$	44	74.7	(16)	1.1572	+ 0.0070
					Mittel = 1.1502	± 0.0023

Hieraus berechnet sich der wahrscheinliche Fehler für einen Tag zu 1.7 Procent, für das Mittel aus 10 Tagen zu 0.5 Procent des bestimmten Helligkeitsverhältnisses.

Die in vorstehenden Werthen ausgesprochene Constanz der künstlichen Lichtquelle und der atmosphärischen Durchsichtigkeit übertrifft bei Weitem alle Erwartungen, welche ich anfänglich hierüber hegte.

Ich achtete allerdings bei meinen Beobachtungen sehr sorgfältig auf eine vollkommen reine und durchsichtige Luft, was sich natürlich bei Tage mit weit grösserer Sicherheit als des Nachts bewerkstelligen lässt.

Dessenungeachtet hatte ich eine solche Unveränderlichkeit der atmosphärischen Absorption nicht erwartet, um so weniger, als SEIDEL die Schwankungen der relativen Durchsichtigkeit der Luft in verschiedenen Nächten durchschnittlich zu $\frac{1}{10}$ der ganzen Extin-

ctionsgrösse angiebt[1]) und an einer späteren Stelle derselben Abhandlung sogar die Vermuthung ausspricht, »dass die Durchsichtigkeitsverhältnisse der Luft bei Nacht viel geringeren Störungen unterworfen sind, als bei Tage, wo man ja sehr häufig schleierartige Trübungen von geringerer Ausdehnung in Bewegung sieht« (l. c. p. 164).

Wie schon bemerkt, waren derartige Trübungen bei meinen Beobachtungen nicht wahrzunehmen, wie denn überhaupt solche Fehlerquellen bei Tage und auch bei Beobachtungen des Mondes viel leichter zu vermeiden sind, als bei Beobachtungen von Sternen.

Um mir indessen von den Durchsichtigkeitsschwankungen der Atmosphäre während der Nacht auch durch eigene Messungen ein nur vorläufiges Urtheil zu bilden, beobachtete ich mit meinem Astrophotometer die beiden Sterne α und β *Ursae minoris* in vier verschiedenen Nächten, in denen der Himmel dem Anscheine nach vollkommen klar war.

Die Flamme wurde hierbei jedesmal mit möglichst grosser Sorgfalt auf gleiche Höhe eingestellt und alsdann mussten die Unterschiede der in den verschiedenen Nächten erhaltenen Einstellungswerthe einen Massstab zur Beurtheilung der Durchsichtigkeitsschwankungen der Luft geben, wogegen das beobachtete Helligkeitsverhältniss der beiden Sterne, unter Voraussetzung ihrer Unveränderlichkeit, an allen Abenden dasselbe sein muss. Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung dieser vorläufigen Beobachtungen.

Datum.	α	β	Log. $\sin^2\alpha$	Abweichung vom Mittel.	Log. $\sin^2\beta$	Abweichung vom Mittel.	Log. $\frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\beta}$	Abweichung vom Mittel.	Zahl d. Beob.
1863.									
Nov. 21. $9^h 10^m$	27°5	25°8	9.3288	+0.0807	9.2774	+0.0778	0.0514	+0.0029	(8)
Nov. 28. $10^h 30^m$	25.4	23.7	9.2648	+0.0167	9.2084	+0.0088	0.0564	+0.0079	(8)
Nov. 30. $10^h 15^m$	22.9	21.8	9.1802	—0.0679	9.1396	—0.0600	0.0406	—0.0079	(8)
Dec. 1. $10^h 0^m$	24.0	22.7	9.2186	—0.0295	9.1730	—0.0266	0.0456	—0.0029	(8)
		Mittel =	9.2481	±0.0487	9.1996	±0.0433	0.0485	±0.0054	

1) SEIDEL, Resultate photometr. Messungen etc. (1862) p. 90.

Gemäss der Construction des angewandten Photometers drücken $\sin^2\alpha$ und $\sin^2\beta$ die Verhältnisse der Helligkeit des beobachteten zum künstlichen Sterne im Photometer aus und demgemäss $\frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\beta}$ das sich aus den Messungen jedes einzelnen Abends ergebende Helligkeitsverhältniss der Sterne α und β *Ursae minoris*.

Aus den oben angegebenen Logarithmen dieser Werthe ergiebt sich für die wirklichen Helligkeitsverhältnisse der beiden Sterne durchschnittlich nur eine Schwankung von 1.3 Procent, während dagegen die Unterschiede der Extinction bis auf durchschnittlich 11 Procent gehen, was nahezu mit dem oben von SEIDEL angegebenen Werthe übereinstimmen würde. Es bezieht sich jedoch dieses Resultat, strenge genommen, nur auf photometrische Beobachtung von Sternen, bei denen schleierartige Trübungen des Himmels offenbar weit schwieriger als bei Beobachtungen des Mondes wahrzunehmen sind.

Hiernach scheinen also die Zustände der Atmosphäre am Tage für photometrische Messungen im Allgemeinen günstiger als des Nachts zu sein, obgleich zur definitiven Entscheidung dieser Frage jedenfalls ein grösseres Beobachtungsmaterial als das hier mitgetheilte verwerthet werden muss. Ich werde Gelegenheit haben, auf diesen Gegenstand noch einmal weiter unten zurückzukommen.

Indessen lässt sich auch, wie mir scheint, *a priori*, der hier auftretende Unterschied zwischen den Durchsichtigkeitsverhältnissen der Atmosphäre bei Tag und Nacht durch folgende Betrachtung der meteorologischen Verhältnisse wenigstens plausibel machen.

Geht man nämlich von der gewiss berechtigten Annahme aus, dass in der Atmosphäre sehr häufig Luftschichten von verschiedener Temperatur und demgemäss auch von verschiedenem Lichtbrechungsvermögen über einander liegen, so muss ein Lichtstrahl, welcher solche Schichten durchsetzt, an der Grenze derselben jedesmal eine partielle Reflexion und eine dem entsprechende Schwächung seiner Intensität erleiden. Hieraus folgt, dass die Absorption eines Strahles in der Atmosphäre desto grösser sein wird, je grösser die Anzahl von Schichten verschiedener Brechbarkeit ist, welche er auf seinem Wege zu durchlaufen hat.

Untersucht man nun, ob am Tage oder des Nachts die Bedingungen zur Bildung solcher Schichten günstiger sind, so entscheidet eine einfache Betrachtung zu Gunsten der Nacht.

Am Tage werden nämlich die unteren Luftschichten durch den von der Sonne bestrahlten Erdboden erwärmt und es findet in Folge dessen fortdauernd ein aufsteigender Luftstrom statt, welcher jede dauernde Uebereinanderlagerung von Schichten verhindert und daher nothwendig zur allgemeinen Ausgleichung der Temperatur in der Atmosphäre beitragen muss.

Des Nachts dagegen findet gerade das Umgekehrte statt. Die unteren Luftschichten werden von dem durch Wärmeausstrahlung abgekühlten Erdboden ebenfalls abgekühlt und in Folge dessen die aufsteigenden Luftströme verhindert, so dass jetzt die oben erwähnte Schichtenbildung ungestört sich entwickeln kann.

Für die Richtigkeit der hier dargelegten Ansicht scheint mir unter Anderem auch die Thatsache zu sprechen, dass, nach astronomischen Erfahrungen, durchschnittlich die sogenannte »Unruhe der Bilder«, welche durch die besprochenen Temperaturdifferenzen bedingt ist, des Nachts und im Winter bei Weitem grösser als am Tage und im Sommer ist.

Ehe ich nun zur Beschreibung der mehrfach erwähnten zweiten Methode übergehe, will ich zunächst einige Originalbeobachtungen mittheilen, welche mit Hülfe des vorstehend beschriebenen Photometers an der Sonne und dem Monde erhalten worden sind. Ich muss in Betreff des vollständigen Beobachtungsmaterials, aus welchem die weiter unten mitzutheilende Intensitätscurve der verschiedenen Mondphasen abgeleitet wurde, auf die am Schlusse gegebene »Copie der Originalbeobachtungen« verweisen. Es werden indessen vorläufig die hier ausführlich mitgetheilten Beobachtungen einiger Tage genügen, um sich ein Urtheil von dem allgemeinen Gange und der Art und Weise dieser Beobachtungen bilden zu können. Die Angaben der Zeit beziehen sich auf mittlere Leipziger Zeit.

Copie
von Originalbeobachtungen am **Monde** nach der **ersten** Methode.

1864. Juni 20.

Die Luft anfangs etwas dunstig, später klar.

Anfang: $10^h\ 15^m$ $v = 193°2$ Ende: $11^h\ 10^m$.

	Prismenkreis.	Photometer.		Prismenkreis.	Photometer.
1)	31°3	13°6	5)	33°3	14°6
2)	32.0	13.8	6)	33.7	14.5
3)	32.5	14.1	7)	34.0	14.4
4)	33.0	14.4	8)	35.0	14.6

Wie schon früher bemerkt, wurde bei diesen Beobachtungen am Monde, dessen Elongation zur mittleren Beobachtungszeit durch v bezeichnet ist, das Licht der Lampe durch dasselbe Blendglas abgeschwächt, welches bei den Sonnenbeobachtungen zur Abschwächung des Sonnenlichtes diente. Die obigen Einstellungen des Photometers sind die Mittelwerthe aus zwei in benachbarten Quadranten gemachten Einstellungen, ebenso wie bei den nun folgenden Sonnenbeobachtungen.

Copie
von Originalbeobachtungen an der **Sonne** nach der **ersten** Methode.

1863. Juni 20.

Die Luft sehr klar und durchsichtig.

Anfang: $23^h\ 15^m$ Ende: 23^h 30.

	Prismenkreis.	Photometer.
1)	125°	74°4
2)		75.2
3)		75.2
4)		75.1
5)		75.0

Die unter der Bezeichnung »Prismenkreis« aufgeführten Werthe sind die unmittelbaren Ablesungen an diesem Instrumente zur Bestimmung der entsprechenden Sonnen- und Mondhöhen.

34.

Bei der bisher angewandten ersten Methode hatte das Auge über die Gleichheit zweier sich unmittelbar berührender Flächen zu entscheiden; es mag nun hier eine kurze Beschreibung der zweiten Methode, d. h. desjenigen Photometers folgen, bei welchem an Stelle der Flächen leuchtende Puncte mit einander verglichen werden.

Das Princip dieses Apparates ist, wie schon bemerkt, im Wesentlichen dasselbe, welches ich bei meinem Astrophotometer angewandt habe; es handelt sich nur darum, die Sonnen- und Mondscheibe auf geeignete Weise in sternartige Puncte zu verwandeln.

Dies wurde in folgender Weise bewerkstelligt. Auf der Axe AB (Fig. 2, Taf. III) des Verticaldurchschnittes des Apparates, den die Figur darstellt, befindet sich bei a an Stelle des Objectivs eine kleine Convexlinse von nur 12^{mm} Brennweite. Das hierdurch bei a' erzeugte kleine Sonnenbild sendet seine Strahlen auf eine zweite Convexlinse bei b, welche ein zweites reelles Bild bei b' erzeugt. Dieses Bild gleicht vollkommen einem Sterne, ohne jeden wahrnehmbaren Durchmesser.

Um nun die bei a einfallenden Strahlen messbar abzuschwächen, sind bei C und C' zwei NICOL'sche Prismen angebracht, von denen das letztere C' in unveränderlicher Lage befestigt ist, das erstere C dagegen mit dem ganzen vorderen Theil der Objectivröhre um die Axe AB drehbar ist. Die gegenseitige Lage der beiden Prismen kann an dem Kreise dd' abgelesen werden.

Die übrigen Theile des Apparates sind genau dieselben, wie die meines Astrophotometers. Es ist ee' die planparalle Glasplatte, welche das durch die Convexlinse f erzeugte Bild des künstlichen Sternes nach g reflectirt; h, i, k sind NICOL'sche Prismen, von denen h in unveränderlicher Lage zum Spiegel ee' befestigt ist, wogegen i und k gleichzeitig um die Axe CD gedreht werden können. Die Lage des Prismas i zu h kann an dem Kreise nn' abgelesen werden.

Die senkrecht zur Axe geschliffene Bergkrystallplatte l und das Prisma k dienen dazu, dem künstlichen Sterne in g jede beliebige Farbe zu ertheilen, wie ich dies in meiner mehrfach citirten Schrift ausführlich erläutert habe, auf welche ich hier überhaupt

bezüglich einer detaillirteren Beschreibung dieser Theile des Apparates verweisen muss.

Bei *m* ist noch eine Concavlinse von sehr kleinem Krümmungshalbmesser eingeschaltet, um die Oeffnung des durch die Flamme *F* erleuchteten Diaphragmas *o* möglichst zu verkleinern.

Ein wesentliches Erforderniss bei den Beobachtungen mit diesem Apparate ist die gleiche Entfernung der beiden Bilder *g* und *b'* vom Auge in *O*, wo sie bei der kleinen Apertur des Objectivs von nur 2.5 Millimeter dem Beobachter auf vollkommen dunklem Grunde erscheinen. Zu diesem Zwecke lässt sich das Nicol *C'* mit der Linse *b* in der Richtung der Axe *AB* verschieben.

Um nun hierbei ein Kriterium für die Gleichheit der Entfernung der Bilder *g* und *b'* vom Auge zu haben, vertauschte ich die Ocularröhre mit einem Mikroskop und verschob alsdann die Linse *b* so lange, bis beide Bilder gleich deutlich erschienen.

Bei den Beobachtungen selber wurden diese Bilder mit vollkommen gegen alles störende Licht geschütztem Auge betrachtet, ohne hierbei eine Ocularlinse anzuwenden. — Zu bemerken ist, dass der von der künstlichen Lichtquelle erzeugte Stern durch Reflexion von der Vorder- und Hinterfläche der Glasplatte *ee'* im Gesichtsfelde doppelt erschien, jedoch bei der Dicke jener Platte von 4^{mm} in solchem Abstande, dass das von der Sonne oder dem Monde erzeugte sternartige Bild zwischen jene Bilder fiel und nur mit dem von der Vorderfläche reflectirten künstlichen Sterne verglichen werden konnte.

Zur Abschwächung des Sonnenlichtes wurde bei diesem Apparate vor der Objectivlinse bei *a* ein aus 7 grauen Gläsern bestehendes Blendglas befestigt. Drei dieser Gläser bildeten zusammen das bei der vorher beschriebenen Methode angewandte Blendglas, wo der Logarithmus des Absorptionscoëfficienten, $\log A$, gefunden wurde (p. 87):

$$\log A = 1.8127 \pm 0.0022$$

Vier andere Gläser waren zu einem zweiten Blendglase vereinigt, dessen Absorptionscoëfficient A' aus einer grösseren Anzahl von Beobachtungen gefunden wurde:

$$\log A' = 2.5621 \pm 0.0078$$

Dass hierbei ein verhältnissmässig so grosser wahrscheinlicher Fehler auftritt, liegt wesentlich an der starken Absorption der angewandten Blendgläser, indem bei Anwendung derselben die sternartig verkleinerte Lichtquelle so schwach erschien, dass hierdurch die Einstellungen unsicherer wurden. Da indessen bei den unten folgenden Mondbeobachtungen die Schwankungen der atmosphärischen Durchsichtigkeit nicht berücksichtigt werden, so glaubte ich mich zu der Annahme berechtigt, dass der obige wahrscheinliche Fehler noch innerhalb derjenigen Grenze liege, welche durch jene Schwankungen der hier erreichbaren Genauigkeit gesteckt sind. Die weiter unten mitzutheilenden Beobachtungen zeigen jedoch, dass sich die in der Wirklichkeit stattfindenden Verhältnisse weit günstiger gestalten, so dass der oben angegebene Absorptionscoëfficient für spätere Untersuchungen noch einer genaueren Bestimmung unterworfen werden muss.

Die obigen beiden Blendgläser wurden nun bei Beobachtungen an der Sonne combinirt angewandt, so dass man für den Logarithmus des Absorptionscoëfficienten A'' des hierdurch entstehenden neuen Blendglases erhält:

$$\log A'' = \log A + \log A' = 4.3748 \pm 0.0082$$

Es mag nun auch hier die Mittheilung einiger Originalbeobachtungen mit dem beschriebenen Photometer folgen. Die Einstellungen des Kreises dd', den ich in der Folge einfach als »Objectivkreis« bezeichnen will, sind jedesmal über den Ablesungen an dem Photometerkreis nn' angegeben. Der zuerst genannte Kreis dd', welcher ursprünglich nur behufs einer messbaren Abschwächung des Sonnenlichtes angebracht war, diente gleichzeitig zu der bereits oben erwähnten Controle des Sinusquadrat-Gesetzes. Denn angenommen, ich messe bei zwei verschiedenen Einstellungen ψ und ψ' des Objectivkreises die Intensitäten des sternartig verkleinerten Sonnen- oder Mondbildes in b', und finde hierbei an dem Photometerkreis die entsprechenden Einstellungen φ und φ', so ist für die Function f, welche die Abhängigkeit der Intensität von den Einstellungswinkeln der Nicol'schen Prismen ausdrückt, die Bedingungsgleichung gegeben:

$$\frac{f(\psi)}{f(\psi')} = \frac{f(\varphi)}{f(\varphi')}$$

Zeigt sich nun, dass dieser Bedingung durch die Function $sin^2 \varphi$ genügt wird, so ist hierdurch auch die Richtigkeit des Sinusquadrat-Gesetzes bewiesen[1]. — Indem ich nun sowohl bei Beobachtungen am Monde als auch an der Sonne wenigstens bei drei verschiedenen Einstellungen des Objectivkreises beobachtete, konnte an jedem Beobachtungstage die Richtigkeit des fraglichen Gesetzes controlirt werden.

Die Einstellungen am Objectivkreis sind bei den folgenden Beobachtungen mit O. K., die des Prismenkreises mit P. K. und die des Photometers mit φ überschrieben. Die Einstellung des Colorimeters ist bei allen Beobachtungen immer dieselbe.

Copie
von Originalbeobachtungen am Monde nach der zweiten Methode.

1864. Juli 21.

Die Luft sehr klar.

Anfang: $12^h\ 15^m$ $v = 218^0$ Ende: $12^h\ 35^m$

P. K.	O.K. = 60°	P. K.	O.K. = 40°	P. K.	O.K. = 30°	P. K.	O.K. = 60°
	φ		φ		φ		φ
	19°8		14°7		11°3		19°1
52°0	19.2	53°8	14.4	55°5	11.0	56°8	19.3
	19.3		14.5		11.1		19.2
Mittel =	19°4		14°5		11°1		19°2

Die Einstellungen am Photometer sind hier wieder die Mittelwerthe aus zwei in benachbarten Quadranten gemachten Einstellungen. Da der Collimationsfehler des Objectivkreises Null ist, so muss nach dem oben Bemerkten folgenden Gleichungen genügt sein, wenn das Sinusquadratgesetz richtig ist:

$$\frac{\sin 60^0}{\sin 30^0} = \frac{\sin 19°3}{\sin 11°1} \quad \Big| \quad \frac{\sin 60^0}{\sin 40^0} = \frac{\sin 19°3}{\sin 14°5} \quad \Big| \quad \frac{\sin 40^0}{\sin 30^0} = \frac{\sin 14°5}{\sin 11°1}$$

---

1) Vgl. Photometrie des Himmels p. 22.

Es ist aber in der That:

$$\log\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = 0.2385 \qquad \log\frac{\sin 60^\circ}{\sin 40^\circ} = 0.1294 \qquad \log\frac{\sin 40^\circ}{\sin 30^\circ} = 0.1091$$

$$\log\frac{\sin 19^\circ\!.3}{\sin 11^\circ\!.1} = 0.2348 \qquad \log\frac{\sin 19^\circ\!.3}{\sin 14^\circ\!.5} = 0.1206 \qquad \log\frac{\sin 14^\circ\!.5}{\sin 11^\circ\!.1} = 0.1142$$

$$\text{Differ.} = +0.0037 \qquad \text{Differ.} = +0.0088 \qquad \text{Differ.} = -0.0051$$

Copie
von Originalbeobachtungen an der **Sonne** nach der **zweiten** Methode.

1864. August 31.

Die Luft sehr klar.

Anfang: $0^h\ 5^m$ Ende: $0^h\ 45$ Mittlere Zenithdistanz = 43°.

O. K. = 10°	O. K. = 15°	O. K. = 5°	O. K. = 10°
φ	φ	φ	φ
28°9	55°7	14°1	30°6
31.0	54.3	14.0	30.7
Mittel = 29°9	58°0	14°1	30°6

Collimationsfehler des O. K. = + 0°8

Hiernach ergeben sich für die corrigirten Einstellungen des Objectivkreises:

9°2 14°2 4°2 9°2

Das Mittel aus den beiden Werthen bei der Einstellung 9°2 des Objectivkreises ist 30°3, und man hat:

$$\log\frac{\sin 14^\circ\!.2}{\sin 9^\circ\!.2} = 0.1859 \qquad \log\frac{\sin 14^\circ\!.2}{\sin 4^\circ\!.2} = 0.5250 \qquad \log\frac{\sin 9^\circ\!.2}{\sin 4^\circ\!.2} = 0.3391$$

$$\log\frac{\sin 55^\circ\!.0}{\sin 30^\circ\!.3} = 0.2105 \qquad \log\frac{\sin 55^\circ\!.0}{\sin 14^\circ\!.4} = 0.5267 \qquad \log\frac{\sin 30^\circ\!.3}{\sin 14^\circ\!.1} = 0.3162$$

Bei allen diesen Beobachtungen war vor dem Objective das Blendglas mit dem Absorptionscoëfficienten A'' befestigt.

35.

Mit Hülfe der beschriebenen Methoden wurde nun die Lichtstärke der Mondphasen in der angegebenen Weise bestimmt und die gefundenen Werthe auf das Zenith und den mittleren Abstand des Mondes und der Sonne von der Erde reducirt.

Diese so reducirten Werthe der Helligkeiten sind in Tafel IV als Ordinaten und die entsprechenden Elongationen v des Mondes als Abscissen aufgetragen, so dass die mit rother Farbe verzeichnete Curve im Allgemeinen den Gang der Beobachtungen darstellt. Die mit einem Sternchen versehenen Werthe sind mit Hülfe der zuletzt beschriebenen Methode, die anderen nach der ersten Methode erhalten worden. Hierbei wurde für den Winkel v, welcher eigentlich das Supplement der vom Monde aus gesehenen Elongation der Erde zu 180^0 ausdrückt, einfach nur die Elongation des Mondes gesetzt, indem beide Winkel für die hier angestrebte Genauigkeit zu wenig von einander abweichen.

Die mit blauer Farbe eingetragene Curve entspricht den Beobachtungen Sir J. Herschel's, wie ich dieselben durch vielfache Kreuzung und gegenseitige Controle aus dessen astrometrischen Beobachtungen am Cap der guten Hoffnung (1834—36) abgeleitet habe[1].

Herschel hatte seine Beobachtungen zu einem ganz andern Zwecke angestellt, nämlich zu relativen Helligkeitsbestimmungen an Fixsternen, wobei ihm das durch eine Linse zu einem Sterne verkleinerte Mondbild als künstlicher Vergleichsstern diente. Indem er nun bei verschiedenen Phasen mehrfach dieselben Sterne mit dem kleinen Mondbilde verglich, liessen sich offenbar aus den hierbei gefundenen Werthen die relativen Helligkeiten der entsprechenden Phasen berechnen.

Wenn man die Unvollkommenheiten und die von Herschel selbst hervorgehobenen grossen Mängel seiner Methode berücksichtigt, so[1] wird man im Allgemeinen die Uebereinstimmung dieser Herschel'schen Beobachtungen mit den meinigen als eine befriedigende bezeichnen dürfen.

Die schwarz ausgezogene Curve, welche sich den Beobachtungen so gut wie vollständig anschliesst, stellt den nach Formel (46) p. 68

1) Results of astr. Observ. etc. p. 362. (Capreise.)

theoretisch berechneten Gang der Helligkeiten dar, wobei nach einigen Versuchen der Winkel β zu 52^0 angenommen wurde. Wie schon früher bemerkt, ist hierbei das zweite Glied jener Formel unberücksichtigt geblieben, indem der Coëfficient $\varDelta$ der Einheit gleich gesetzt wurde, von der er in der That wenig abweicht.

Man ersieht indessen aus dem Gange der Curve deutlich, dass jenes Glied bei einer Elongation von 110^0 bereits seinen Einfluss geltend macht, während dies bei abnehmendem Monde in der entsprechenden Elongation von 250^0 noch nicht der Fall ist.

Es muss nothwendig einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben, auch durch Beobachtungen an den kleinen Phasen den genauen Werth des Coëfficienten $\varDelta$ zu bestimmen. Jedenfalls ist ersichtlich, dass hierdurch gleichzeitig die mittlere Grösse der p. 67 erwähnten Abstumpfungsflächen der Erhebungen gegeben ist, so dass man alsdann aus dieser Grösse und dem bereits jetzt bekannten Elevationswinkel β die mittlere Höhe und Vertheilung der Mondberge wird berechnen können.

Um zu zeigen, wie wenig sich die LAMBERT'sche Formel den Beobachtungen anschliesst, ist die punctirte schwarze Curve gezeichnet, welche den Berechnungen LAMBERT's unter Voraussetzung einer homogenen Mondoberfläche entspricht. Wie man sieht, ist die Abweichung eine über alle Erwartung grosse. Ich musste daher schon nach Vergleichung meiner ersten Beobachtungen mit dieser Theorie die Ueberzeugung gewinnen, dass nothwendig die Voraussetzungen, von denen jene Theorie ausgeht, auch nicht entfernt mit den in der Natur gegebenen Verhältnissen übereinstimmen können.

In der folgenden Tabelle sind nun in der ersten Columne die Beobachtungstage, in der zweiten die entsprechenden Elongationen des Mondes, in der dritten die Anzahl der verwertheten Beobachtungen, in der vierten die Logarithmen der beobachteten, auf das Zenith und die mittlere Entfernung des Mondes gehörig reducirten, Lichtmengen und endlich in der fünften die Logarithmen der nach meiner Formel berechneten Quantitäten aufgeführt. Hierbei wurde der Logarithmus der Lichtmenge des Vollmondes gleich 2 gesetzt, also diese selbst gleich 100, und der bei der Elongation 179^0 am 19. Juni 1864 gefundene Werth in der theoretischen und empirischen Curve als übereinstimmend angenommen.

Wie schon oben bemerkt, sind bei Zeichnung der **Curven** nicht die Logarithmen, sondern die Helligkeiten selber zu Grunde gelegt. Die Beobachtungen No. 19 bis No. 22 sind nicht mehr auf der Tafel angegeben, da die letztere zu dieser Zeit bereits gedruckt war.

Tabelle III.

Uebersicht der **beobachteten** und **berechneten** Lichtmengen verschiedener Mondphasen.

No.	Datum.	v	Zahl der Beob.	Log q beobachtet	Log q berechnet	Rechn.-Beob.
1	1863. Nov. 21	139°	(16)	1.6425*	1.6284	— 0.0141
2	Nov. 27	208	(8)	1.7559*	1.7752	+ 0.0193
3	Nov. 28	219	(16)	1.6201*	1.6532	+ 0.0331
4	Nov. 30	242	(16)	1.3096*	1.3139	+ 0.0043
5	1864. März 19	140	(20)	1.6730	1.6405	— 0.0325
6	März 20	152	(12)	1.7497	1.7752	+ 0.0255
7	März 23	185	(14)	1.9405	1.9675	+ 0.0270
8	Mai 20	172	(20)	1.9647	1.9465	— 0.0182
9	Juni 19	179	(14)	1.9939	1.9939	0.0000
10	Juni 20	193	(12)	1.9170	1.9096	— 0.0074
11	Juni 21	207	(16)	1.7627	1.7853	+ 0.0226
12	Juni 22	222	(12)	1.5809	1.6170	+ 0.0361
13	Juni 24	249	(12)	1.1644	1.1818	+ 0.0174
14	Juli 13	110	(18)	1.3075*	1.1584	— 0.1491
15	Juli 14	122	(22)	1.4330*	1.3856	— 0.0474
16	Juli 15	134	(24)	1.5575*	1.5647	+ 0.0072
17	Juli 16	147	(34)	1.6866*	1.7235	+ 0.0369
18	Juli 17	161	(24)	1.8351*	1.8591	+ 0.0240
19	Aug. 15	156	(12)	1.8536*	1.8139	— 0.0397
20	Sept. 13	153	(16)	1.8026*	1.7848	— 0.0178
21	Nov. 12	169	(12)	1.9482*	1.9245	— 0.0237
22	Nov. 17	232	(12)	1.4640*	1.4414	— 0.0226

Schliesst man die Beobachtung No. 14 aus, bei welcher sich, wie schon oben bemerkt wurde, bereits der Einfluss des zweiten Gliedes unserer Formel bemerkbar macht, so ergiebt sich aus den vorstehenden Abweichungen zwischen Rechnung und Beobachtung die wahrscheinliche Abweichung des an einem Abend beobachteten Werthes von der Theorie zu

$$\pm 0.0186$$

oder zu 4.4 Procent der gemessenen Lichtmenge.

36.

Diese Uebereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung tritt nun noch deutlicher hervor, wenn man nur die im Mai und Juni erhaltenen Beobachtungen (No. 8 bis No. 13) berücksichtigt, aus denen jetzt in Verbindung mit dem früher erhaltenen Werthe für die Sonnenhelligkeit (vgl. p. 90) das Helligkeitsverhältniss zwischen der Sonne und dem Vollmonde in ihrem mittleren Abstande von der Erde berechnet werden soll.

Da hierbei eine ununterbrochene Reihe von sehr klaren Nächten benutzt werden konnte und an einzelnen dazwischen liegenden Tagen gleichzeitig die Sonne beobachtet wurde, so wird die Uebereinstimmung der lediglich durch theoretische Reduction der Phase auf den Vollmond erhaltenen Werthe, sowohl für die annähernd constante Durchsichtigkeit der Luft als auch für die Anwendbarkeit der entwickelten Theorie den Beweis liefern. — Es wurde bei diesen Beobachtungen ausschliesslich die erste der beschriebenen, photometrischen Methoden angewandt, bei welcher im Gesichtsfelde zwei sich unmittelbar berührende Flächen bezüglich ihrer Helligkeit verglichen werden, und die Intensitäten sich proportional den Tangentenquadraten der Einstellungswinkel ändern.

In der folgenden Tabelle sind unter »log q« die Logarithmen der beobachteten, wegen der atmosphärischen Absorption und des mittleren Mondabstandes gehörig reducirten Lichtmengen der betreffenden Mondphasen angeführt.

Die daneben gesetzten, logarithmischen Reductionen auf den Vollmond sind lediglich mit Hülfe des ersten Gliedes meiner Formel

berechnet und brauchen nur zu log q addirt zu werden, um die in der nächsten Columne befindlichen Logarithmen der Lichtmenge des Vollmondes zu erhalten.

Tabelle IV.

Uebersicht der aus der Lichtstärke verschiedener Phasen theoretisch bestimmten Lichtmengen des mittleren **Vollmondes** nach der **ersten** Methode.

Datum.	v	log q	Log. der Phasen-reduction.	Log. Helligk. des mittl. Vollmondes.	Abweichung vom Mittel.
1864. Mai 20	172°	8.9519	0.0535	9.0053	+ 0.0207
Juni 19	179	8.9878	0.0061	8.9939	+ 0.0093
Juni 20	193	8.9112	0.0904	9.0016	+ 0.0170
Juni 21	207	8.7568	0.2147	8.9715	— 0.0131
Juni 22	222	8.5752	0.3830	8.9582	— 0.0264
Juni 24	249	8.1590	0.8182	8.9772	— 0.0074
			Mittel =	8.9846 ± 0.0051	

Hieraus ergiebt sich für die wahrscheinliche Abweichung eines einzelnen, durch Beobachtung gefundenen Werthes von der Theorie die Grösse

$$\pm 0.0124$$

was für die an einem Abende gemessene Helligkeit selber nicht mehr als

3 Procent

ausmacht.

Wir hatten oben (Tabelle II, p. 90) für den Logarithmus der mittleren Sonnenhelligkeit, bezogen auf dieselbe Lichtquelle, den Werth:

$$1.1502 \pm 0.0023$$

erhalten, wobei jedoch zu bemerken ist, dass das Blendglas mit dem Absorptionscoëfficienten A bei den Beobachtungen der Sonne zur Abschwächung des Sonnenlichtes, bei den Beobachtungen des Mondes hingegen zur Abschwächung des Lampenlichtes

diente. Um also die Lichtmengen des ungeschwächten (resp. gleichgeschwächten) Sonnen- nnd Mondlichtes auf dieselbe Lichtquantität der künstlichen Lichtquelle zu beziehen, muss die Grösse $\log A$ von dem Logarithmus der Mondhelligkeit subtrahirt, beim Logarithmus der Sonnenhelligkeit dagegen addirt werden.

Da nach p. 87:

$$\log A = 1.8127 \pm 0.0022$$

so hat man jetzt zur Berechnung des mittleren Verhältnisses der Sonnen- zur Vollmondshelligkeit die folgenden Data.

Es mögen hierbei $\log Q'$ und $\log q'$ die Logarithmen der mit Anwendung des Blendglases A beobachteten Helligkeiten von Sonne und Mond, und $\log Q$ und $\log q$ die mit Rücksicht auf das verschieden angewandte Blendglas reducirten Werthe bedeuten.

Bestimmung des mittleren Helligkeitsverhältnisses von Sonne und Vollmond nach der **ersten** Methode.

1. Sonne.

$$\begin{aligned} \log Q' &= 1.1502 \pm 0.0023 \\ \log A &= 1.8127 \pm 0.0022 \\ \hline \log Q &= 2.9629 \pm 0.0028 \end{aligned}$$

2. Mond.

$$\begin{aligned} \log q' &= 8.9846 \pm 0.0051 \\ -\log A &= -1.8127 \pm 0.0022 \\ \hline \log q &= 7.1719 \pm 0.0056 \\ \log \frac{Q}{q} &= 5.7910 \pm 0.0067 \\ \frac{Q}{q} &= 618000 \end{aligned}$$

mit einem wahrscheinlichen Fehler von 1.6 Procent dieses Werthes.

37.

Es soll nun dieses Helligkeitsverhältniss von Sonne und Vollmond auch aus Beobachtungen nach der zweiten Methode abgeleitet werden, bei welcher, wie mehrfach bemerkt, an Stelle der leuchtenden Flächen sternartig leuchtende Puncte verglichen werden,

deren Intensität sich nicht den Tangenten-, sondern den Sinusquadraten der Einstellungswinkel proportional ändert.

Da in der Folge diese Methode ihrer Bequemlichkeit und allgemeinen Anwendbarkeit wegen stets benutzt werden soll, so will ich die mit ihrer Hülfe sowohl an der Sonne als auch am Monde erhaltenen Resultate etwas ausführlicher mittheilen, um gleichzeitig den Einfluss erkennen zu lassen, welchen der Abstand dieser Himmelskörper von der Erde und vom Zenithe des Beobachters auf ihre Helligkeit ausübt.

Die folgende Tabelle giebt zunächst eine Uebersicht der photometrischen Bestimmungen des Sonnenlichtes; in der dritten Columne sind unter z die Zenithdistanzen zur mittleren Beobachtungszeit angegeben, und in der darauf folgenden die Logarithmen der beobachteten Helligkeit der Sonne. Hierbei ist zu bemerken, dass die Sonne stets mit Anwendung des stark absorbirenden Blendglases beobachtet wurde, dessen Absorptionscoëfficient A'' oben (p. 97) logarithmisch angegeben ist. Ausserdem wurden alle, bei verschiedenen Einstellungen des Objectivkreises erhaltenen, Werthe mit Anwendung des Sinusquadrat-Gesetzes auf eine Einstellung von 90° reducirt, so dass also die in der vierten Columne aufgeführten Werthe die Logarithmen der Helligkeitsverhältnisse des durch künstliches Licht erzeugten Sternes zu dem sternartig verkleinerten Sonnenbilde ausdrücken, wenn der Objectivkreis auf 90° eingestellt und das erwähnte Blendglas vor dem Objective des Photometers befestigt ist. In der nächsten Columne ist dann die Anzahl der einzelnen Beobachtungen angegeben, welche an dem betreffenden Tage angestellt wurden und zur Berechnung der vorhergehenden Zahl gedient haben. Die alsdann folgenden Reductionswerthe auf's Zenith sind der älteren SEIDEL'schen Extinctionstafel[1]) entnommen, da nach den Angaben SEIDEL's nichts Wesentliches geändert wird, wenn man sich der von ihm in seiner neuesten Abhandlung gegebenen, verbesserten Extinctionstafel bedient[2]).

1) SEIDEL, Untersuchungen über die gegenseitigen Helligk. d. Fixst. 1. Gr. etc. p. 43.

2) Id. Resultate photometr. Messungen an 208 der vorzüglichsten Fixsterne p. 86.

Die logarithmischen Reductionswerthe auf die mittlere Entfernung der Sonne sind einfach die mit 2 multiplicirten Logarithmen der im Berliner astronomischen Jahrbuch angegebenen *Radii vectores* der Erde, so dass die dann folgenden Logarithmen der mittleren Sonnenhelligkeit durch Addition der in den drei vorhergehenden Columnen angeführten Werthe erhalten werden.

Tabelle V.

Photometrische Bestimmungen des Sonnenlichtes nach der zweiten Methode.

No.	Datum.	z	Log. der beobacht. Helligkeit.	Zahl der Beob.	Log. Zenithreduction.	Log. Reduction auf mittl. Entf.	Log. Helligkeit d. mittl. Sonne.	Abweichung vom Mittel.
1	1864. Aug. 31	43°0	1.0212	(16)	0.023	0.0076	1.0518	+0.0210
2	Sept. 14	48.0	0.9903	(12)	0.038	0.0044	1.0327	+0.0019
3	Oct. 4	83.1	0.5676	(8)	0.555	9.9995	1.0221	—0.0087
4	Nov. 10	68.5	0.8614	(22)	0.175	9.9908	1.0272	—0.0036
5	Nov. 28	72.5	0.8146	(12)	0.225	9.9878	1.0274	—0.0034
6	Dec. 11	75.1	0.7676	(20)	0.270	9.9862	1.0238	—0.0070
							Mittel = 1.0308	± 0.0049

In der folgenden Tabelle, welche die aus den Beobachtungen verschiedener Mondphasen nach meiner Theorie berechneten Lichtmengen des mittleren Vollmondes enthält, ist der Logarithmus der theoretischen Phasenreduction auf den Vollmond in einer besonderen Columne angegeben. Diese Reductionswerthe drücken den Logarithmus des Verhältnisses aus, in welchem nach der Theorie die Lichtmenge der entsprechenden Phase bei der Elongation v zu der Lichtmenge des Vollmondes steht. Da sich nun das erste und hier stets nur berücksichtigte Glied der von mir gegebenen Formel von der Lambert'schen Theorie lediglich durch eine Constante, den mittleren Elevationswinkel $\beta = 52^{0}$ der Mondberge, unterscheidet,

so braucht man diesen Werth nur von der jedesmal stattfindenden Elongation v zu subtrahiren, um sich alsdann der von SEIDEL am Schlusse seiner zweiten Abhandlung[1]) berechneten »Tafel für den LAMBERT'schen Factor der Phase« zur Berechnung der in der bezeichneten Columne angegebenen Phasenreduction zu bedienen. So erhält man z. B. für diese Reduction am 14. Juli $9^h\ 50^m$ bei einer Elongation von 122^0 mit Rücksicht auf die SEIDEL'sche Tafel:

$$\log \Phi\ (180^0 - 52^0) - \log \Phi\ (122^0 - 52^0)$$

Es ist aber nach jener Tafel:

$$\log \Phi\ (128^0) = 9.6619$$
$$\log \Phi\ (70^0) = 9.0443$$

folglich:

$$\text{logarithm. Reduct. d. Phase} = \log \Phi\ (128^0) - \log \Phi\ (70^0) = 0.6176$$

in Uebereinstimmung mit dem in der Tabelle VI angegebenen Werthe. Im Uebrigen ist die Anordnung dieser Tabelle dieselbe wie bei der vorhergehenden. Selbstverständlich wurde aber beim Monde kein Blendglas angewandt, sondern es wurden die Logarithmen der beobachteten Helligkeiten nur auf eine Einstellung des Objectivkreises von 90^0 reducirt. Durch Addition der drei Reductionen (wegen Phase, Zenith und Entfernung) zu jenen Werthen der beobachteten Helligkeit erhielt ich alsdann die Logarithmen der mittleren Helligkeit des Vollmondes, welche in der vorletzten Columne stehen.

---

1) SEIDEL, Unters. über die Lichtstärke der Planeten etc. p. 100.

Tabelle VI.

Uebersicht der aus der Lichtstärke verschiedener Phasen theoretisch bestimmten Lichtmengen des mittleren **Vollmondes** nach der **zweiten** Methode.

No.	Datum.	v	z	Log. der beobacht. Helligkeit.	Zahl der Beob.	Log. d. Phasenreduction.	Log. Zenithreduction.	Log. Reduction auf mittl. Entf.	Log. Helligk. d. mittl. Vollmond.	Abweichung vom Mittel.
	1864.									
1	Juli 14. 9h 50m	122°	75°.5	8.7461	(20)	0.6176	0.277	0.9926	9.6333	+0.0198
2	Juli 15. 9h 32m	134	72.5	8.9522	(24)	0.4360	0.225	9.9788	9.5920	—0.0215
3	Juli 16. 10h 0m	147	72.6	9.1032	(16)	0.2780	0.226	9.9654	9.5726	—0.0409
4	Juli 17. 10h 2m	161	71.7	9.2946	(24)	0.1407	0.213	9.9538	9.6021	—0.0114
5	Aug. 15. 9h 30m	156	68.9	9.3414	(12)	0.1861	0.179	9.9432	9.6497	+0.0362
6	Sept. 13. 11h 50m	153	65.7	9.3242	(16)	0.2152	0.147	9.9414	9.6278	+0.0136
7	Sept. 12. 10h 22m	169	37.0	9.5824	(12)	0.0755	0.014	9.9618	9.6337	+0.0202
8	Nov. 17. 12h 20m	232	51.7	9.0070	(12)	0.5226	0.052	0.0150	9.5966	—0.0169
								Mittel =	9.6135	±0.0064

Um nun mit Hülfe dieses Werthes in Verbindung mit der aus Tadelle V für die mittlere Sonnenhelligkeit erhaltenen Zahl das mittlere Helligkeitsverhältniss von Sonne und Vollmond zu berechnen, möge wieder Q' die mit Anwendung des Blendglases A'' gefundene Helligkeit der Sonne bezeichnen, und Q die mit Rücksicht auf das Blendglas reducirte Helligkeit. Da bei den Beobachtungen des Mondes nach dieser Methode gar keine Abblendung stattfand, so bedeutet $\log q$ einfach den in vorstehender Tabelle gefundenen Werth.

Wir hatten auf p. 97 für den Absorptionscoëfficienten A'' des Blendglases erhalten:

$$\log A'' = 4.3748 \pm 0.0082$$

Demnach gestaltet sich jetzt die Rechnung für das gesuchte Verhältniss wie folgt.

Bestimmung des mittleren Helligkeitsverhältnisses von Sonne und Vollmond nach der zweiten Methode.

1. Sonne.

$$\log Q' = 1.0308 \pm 0.0049$$
$$\log A'' = 4.3748 \pm 0.0082$$
$$\log Q = 5.4056 \pm 0.0095$$

2. Mond.

$$\log q = 9.6135 \pm 0.0064$$

folglich:

$$\log \frac{Q}{q} = 5.7921 \pm 0.0115$$
$$\frac{Q}{q} = 619600$$

mit einem wahrscheinlichen Fehler von 2.7 Procent dieses Werthes.

38.

Es stimmt also, wie man sieht, dieser Werth mit dem oben (p. 105) erhaltenen vollkommen innerhalb der Grenzen des wahrscheinlichen Fehlers überein, so dass diese Uebereinstimmung zweier auf ganz verschiedenen Wegen erhaltener Resultate als ein Beweis, sowohl von der Zuverlässigkeit des erlangten Werthes als auch von der Richtigkeit der den angewandten Methoden zu Grunde liegenden Principien, betrachtet werden kann.

Bei dieser Gelegenheit will ich jedoch hier eine Beobachtung nicht unerwähnt lassen, welche ich bis jetzt zwar nur ein Mal gemacht habe, die aber jedenfalls einer weiteren und genaueren Untersuchung unterworfen zu werden verdient. — Es bot sich mir nämlich am 13. November 1864 die Gelegenheit, den Mond fast genau zur Zeit seiner Opposition in einer Höhe von c. 28° photometrisch zu beobachten. Leider war ich verhindert, mehr als 10 einzelne Ablesungen bei zwei verschiedenen Einstellungen des Objectivkreises zu machen, die jedoch unter sich sehr gut übereinstimmten und daher nicht Veranlassung gaben, besonders störende Einflüsse bei den Beobachtungen selber anzunehmen. Aus diesen Beobachtungen

ergab sich für das mittlere Helligkeitsverhältniss von Sonne und Vollmond die Zahl

542300

welche also um etwa 14 Procent von dem oben (p. 105) erhaltenen Werthe abweicht. Da die Luft ausserordentlich klar und durchsichtig war, so wäre es mit Rücksicht auf das früher über die Schwankungen der atmosphärischen Durchsichtigkeit Gesagte (vgl. p. 91) wohl erlaubt, eine solche einzelne Abweichung noch durch derartige Einflüsse zu erklären. Indessen bliebe es alsdann doch immer sehr auffallend, dass sich solche Abweichungen unter den in Tabelle VI mitgetheilten Werthen nicht öfter gezeigt haben, indem hier die wahrscheinliche Abweichung eines einzelnen Tages sich nur auf 4.4 Procent des gefundenen Helligkeitsverhältnisses beläuft.

Macht man dagegen die mehr als wahrscheinliche Annahme, dass die Mondoberfläche aus einem, nicht nur zerstreut reflectirenden, sondern gleichzeitig partiell spiegelnden Stoffe besteht, so würde sich hierdurch das starke Anwachsen der Mondhelligkeit zur Zeit der genauen Opposition erklären lassen. Abgesehen davon, dass es schwer sein dürfte, auf der Erde irgend einen Körper ausfindig zu machen, welcher trotz seiner zerstreuten Reflexion nicht gleichzeitig auch eine partiell spiegelnde besässe, wird die gemachte Annahme dadurch fast zur Gewissheit, dass Arago und in neuester Zeit Secchi[1]) u. A. die theilweise Polarisation des vom Monde ausgesandten Lichtes an vielen Stellen seiner Oberfläche mit Bestimmtheit nachgewiesen haben.

Ich lasse es hier bei diesen Andeutungen bewenden, indem ich im letzten Theile dieser Schrift Gelegenheit finden werde, noch einmal ausführlicher auf die physische Beschaffenheit der Mondoberfläche zurückzukommen. Es ist klar, dass unter der Voraussetzung einer solchen partiellen Spiegelung auch die geocentrische Breite des Mondes, die bis zu 5^0 anwachsen kann, von Einfluss auf die Helligkeit sein muss, was um so bemerkenswerther ist, als gerade an dem oben erwähnten Tage jene Breite sehr klein war.

Aus diesen Betrachtungen geht hervor, dass das wahre und genaue Intensitätsverhältniss von Sonne und Vollmond empirisch

1) Monthly Notices Astr. Soc., Vol. XX, p. 70.

eigentlich nie bestimmt werden kann, insofern bei einer Elongation von 180⁰ und einer Breite von 0⁰ nothwendig eine Mondfinsterniss stattfinden muss. Man wird sich daher begnügen müssen, für das gedachte Verhältniss jene Zahl anzunehmen, welche sich mit Hülfe der oben theoretisch ermittelten Formel aus den einzelnen Mondphasen so befriedigend als eine Constante ergiebt. Ausserdem würde auch eine Zahl, welche gleichzeitig das partiell gespiegelte Licht des Mondes berücksichtigte, nicht dazu benutzt werden können, auf die später anzugebende Weise, die lichtreflectirende Kraft oder die Albedo des Mondes zu berechnen, indem die dabei zu Grunde gelegte LAMBERT'sche Theorie, wesentlich von der Annahme nur zerstreut reflectirender Stoffe ausgeht.

Mit Rücksicht hierauf kann es nun allerdings auffallend erscheinen, dass überhaupt die Anwendung des LAMBERT'schen Calcüles auf die einzelnen Elemente der bergigen Mondoberfläche zu einem so befriedigenden Resultate geführt hat, da ja doch, wie soeben bemerkt, ein solches Element nicht genau den Voraussetzungen entspricht, welche bei LAMBERT's photometrischen Calcül gemacht werden. — Obgleich ich eine eingehende und mathematische Behandlung dieser Eigenthümlichkeit einer späteren Arbeit vorbehalten muss, so will ich doch versuchen, hier durch ein vorläufiges Raisonnement jenem Umstande das Befremdende zu nehmen, welches für Manchen darin enthalten sein mag.

Zu diesem Zwecke betrachte man die Durchschnitte zweier Körper, *ab* und *a'b'* (Fig. 3, Taf. III), von denen der erstere eine ebene, der letztere eine in der angedeuteten Weise mit Erhebungen bedeckte Oberfläche besitzt. Senkrecht über diesen Oberflächen befinde sich in grosser Entfernung ein Auge, für welches die von den beiden Oberflächen, bei verschiedenen Incidenzwinkeln einer parallelen Bestrahlung, ausgesandten Lichtmengen bestimmt werden sollen. Mag nun die Function, welche die Abhängigkeit der Beleuchtung eines Flächenelementes vom Incidenzwinkel ausdrückt, eine ganz beliebige sein, so ist doch unmittelbar einleuchtend, dass für die ebene Oberfläche *ab* diese Function gleichzeitig die Aenderungen der von der ganzen Fläche *ab* in das Auge übergehenden Lichtmenge bei verändertem Incidenzwinkel ausdrücken muss, während dies bei der rauhen, mit Erhebungen bedeckten Fläche *a'b'* nicht mehr der

Fall ist. Denn während bei der ersten die Summe der beleuchteten Flächenelemente stets constant bleibt, ist diese Summe, mit Rücksicht auf die gegenseitige Beschattung der Erhebungen, bei der zweiten Oberfläche eine Function des Incidenzwinkels, welche offenbar ganz unabhängig von der Function ist, welche das Incidenzgesetz für ein einzelnes Flächenelement ausdrückt.

Ist der Winkel, in welchem die zwei Seiten einer Erhebung an der Spitze zusammenstossen, gleich 2α, so ist bei der rauhen Fläche $a'b'$ die von derselben ausgesandte Lichtmenge nur so lange allein eine Function des Incidenzwinkels, als der letztere kleiner als α ist. Sobald hingegen jener Winkel grösser als α wird, beginnt die Beschattung und es verkleinert sich, nach einem von α abhängigen Gesetz, die Summe der beleuchteten Flächenelemente. Wie man sieht, macht sich der Einfluss dieses Gesetzes auf die von $a'b'$ in das Auge gelangende Lichtmenge desto mehr geltend, je kleiner α ist, d. h. je steiler die Erhebungen sind, so dass die Form des Incidenzgesetzes für die, von einer mit Erhebungen bedeckten Oberfläche, ausgesandten Lichtmengen desto bedeutungsloser wird, je steiler die Erhebungen sind.

Aus der angestellten Betrachtung wird nun zur Genüge hervorgehen, dass es voreilig wäre, wollte man aus der befriedigenden Uebereinstimmung, welche sich mit Anwendung des Lambert'schen Calcüles zwischen den theoretisch und empirisch bestimmten Lichtmengen verschiedener Mondphasen ergeben hat, auf die strenge Gültigkeit des Lambert'schen photometrischen Grundgesetzes für jedes Element der Mondoberfläche schliessen. Es verträgt sich demnach immerhin die oben erwähnte partielle Spiegelung einzelner Theile des Mondes mit unsern Resultaten, indem das Gesetz der veränderlichen Lichtmengen der Mondphasen in bedeutend stärkerem Grade durch die theilweise Beschattung und perspektivische Verdeckung der Mondberge oder sonstiger Unebenheiten, als durch die Form des photometrischen Incidenz- und Emanationsgesetzes bedingt ist.

Uebrigens muss man sich erinnern, dass alle Lichtreflexe der beleuchteten auf die beschatteten Theile unberücksichtigt geblieben sind und dass der mittlere Erhebungswinkel β der Unebenheiten erst als eine empirische Constante in unsere Formel eingeführt worden ist. Hierbei ist es nun sehr wohl denkbar, dass ein möglicher

Einfluss der Spiegelung oder allgemeiner, der Ungenauigkeit des photometrischen Grundgesetzes, durch eine passende Bestimmung der Constanten β maskirt worden sei, so dass man sich hüten muss, jener Constanten bezüglich ihrer physischen Bedeutung einen allzugrossen Werth beizulegen. Ohne Zweifel aber liefert die befriedigende Uebereinstimmung meiner Theorie mit den Beobachtungen den Beweis, dass sich die von mir bei den theoretischen Entwickelungen vorausgesetzten Einflüsse in der That auf dem Monde geltend machen, und dass die Unbrauchbarkeit aller bisher für die relative Lichtstärke der Mondphasen entwickelten Theorien wesentlich in der Vernachlässigung jener Einflüsse begründet ist.

Man hätte übrigens das Vorhandensein solcher Einflüsse schon aus der einfachen Betrachtung des Vollmondes, ohne Anwendung irgend welcher Messungen, mit Bestimmtheit folgern können, wie dies auch bereits von Bouguer[1]), und in neuester Zeit von Bond[2]), geschehen ist. Besässe nämlich der Mond eine glatte und zerstreutreflectirende Oberfläche, welche nur annähernd dem photometrischen Grundgesetze Lambert's genügte, so müsste die Scheibe des Vollmondes an den Rändern beträchtlich lichtschwächer als in der Mitte erscheinen. In Wirklichkeit verhält sich's aber gerade umgekehrt; man erkennt eine sehr deutliche Zunahme des Lichtes in der Nähe der Ränder, namentlich wenn man den Mond in einem schwach vergrössernden Fernrohr bei stark erleuchtetem Felde beobachtet, wobei dann gleichzeitig alle Contrastwirkungen ausgeschlossen oder doch hinreichend vermindert werden können.

In der That folgt auch aus meiner Theorie ein solches Anwachsen der Helligkeit in der Nähe des Mondrandes, wie dies eine einfache Betrachtung der bei unsern Entwickelungen zu Grunde gelegten Fig. 4 Taf. II zeigt. Denn bei der Opposition, wo die Sonnenstrahlen mit der Richtung ME zusammenfallen und folglich für jedes Element der Emanationswinkel gleich dem Incidenzwinkel wird, ist die Helligkeit (*claritas visa*) der Seitenflächen einer Erhebung, deren Spitze in die Richtung ME fällt, geringer als diejenige einer

1) Traité d'optique p. 121.

2) Results of photometric experiments upon the light of the Moon etc. p. 239.

senkrecht bestrahlten Fläche, wie solche in der Figur z. B. nahezu durch die Fläche *Bb* dargestellt wird. Setzt man für jedes Element das LAMBERT'sche Grundgesetz voraus, so würde sich die Maximalhelligkeit in der Nähe des Randes zur centralen Helligkeit des Vollmondes im Durchschnitt verhalten müssen wie die Einheit zum Cosinus des Elevationswinkels der Erhebungen. Legt man für diesen Winkel den früher gefundenen Werth von 52° zu Grunde, so ergiebt sich theoretisch, dass im Durchschnitt der Vollmond in der Nähe des Randes ungefähr 1.63 Mal heller als in der Mitte sein muss, ein Werth, der mir mit der Erfahrung sehr wohl verträglich zu sein scheint.

39.

Ehe ich zur Beschreibung der Methode übergehe, welche mir dazu gedient hat, das Helligkeitsverhältniss der Sonne zu den Planeten zu ermitteln, sehe ich mich genöthigt, noch einer Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses von Sonne und Vollmond zu gedenken, welche in neuester Zeit G. P. BOND in einer Fortsetzung seiner schon oben erwähnten photometrischen Untersuchungen geliefert hat.

In dieser Abhandlung, welche betitelt ist:

»*On the relative brightness of the Sun and Moon from observations made at the observatory of Harvard College*«[1]),

findet der Verfasser, dass die mittlere Sonne 470980 Mal heller als der mittlere Vollmond sei.

Am Schlusse der Arbeit werden dann mit Hülfe jenes Werthes in Verbindung mit den von SEIDEL und HERSCHEL angestellten Untersuchungen einige Zahlen angeführt, welche das Helligkeitsverhältniss der Sonne zu den helleren Planeten und Fixsternen ausdrücken. Die hierbei angewandte Beobachtungsmethode, welche BOND nach verschiedenen Versuchen mit andern für die beste erklärt, beschreibt er selbst mit folgenden Worten (l. c. p. 295):

»A glass globe, having a reflecting surface of silver (applied by LIEBIG's process), $10.^{in}16$ in diameter was placed in the open

---

1) Separatabdruck aus den »Memoirs of the American Academie«. New Series, Vol. VIII. Cambridge 1861.

air exposed to the sunlight. The brightness of the image of the Sun formed at its virtual focus was compared with a single Bengola light[1], by receiving the light of both objects upon a small reflecting sphere, which was moved towards one or the other until their images, seen in it side by side, were judged to be equal; the distances of the globes from each other and from the Bengola were then measured, and the observation repeated.«

Alsdann heist es weiter (p. 296):

»The next step was to compare, in precisely the same way, the image of the Moon reflected from the globe with the Bengolas.«

Nach dieser Methode wurde nun an zwei Tagen des Jahres 1860 die Helligkeit der Sonne bestimmt, und zwar am 1. Juli aus drei, am 14. Juli aus nur zwei einzelnen Beobachtungen, deren Resultate jedoch ganz befriedigend übereinstimmen.

Hierauf wurde genau in derselben Weise auch die Helligkeit des Mondes gemessen, diese jedoch nur an einem einzigen Abende (31. Juli), ohne dabei mehr als 5 einzelne Beobachtungen anzustellen.

Abgesehen von dieser geringen Anzahl der verwertheten Beobachtungen, besteht ein Hauptmangel der ganzen Methode darin, dass sich bei den Beobachtungen am Tage und in der Nacht das Auge des Beobachters unter gänzlich verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen befindet.

Ich sehe hierbei ganz ab von der jedenfalls sehr gewagten Annahme, dass eine bengalische Flamme auch nur kurze Zeit als constante Lichtquelle dienen kann.

Ueber die Grösse des Einflusses einer verschiedenen Beleuchtung des Auges auf die Beurtheilung der Farben- und Intensitätsgleichheit zweier physikalisch verschieden zusammengesetzter

---

1) Einige Zeilen früher heisst es: »The standard illuminator was a single Bengola light, those of the same size and manfacture being used throughout.« Trotz dieser Vorsicht ist es mir unerklärlich, wie BOND auf den Gedanken kommen konnte, eine bengalische Flamme, selbst auf die Dauer nur einer halben Minute, welche doch zu einer einigermassen sichern Vergleichung mindestens erforderlich ist, als constante Lichtquelle zu benutzen.

Lichteindrücke habe ich bei Gelegenheit eigener Untersuchungen [1]) über diesen Gegenstand reichlich Gelegenheit gehabt, mich zu überzeugen. Demgemäss ist auch bei den von mir angewandten Methoden ganz besonders darauf geachtet worden, dass sich das Auge sowohl bei Beobachtungen der Sonne als auch des Mondes vollkommen unter gleichen Bedingungen befindet, mögen nun leuchtende Puncte, die sich stets auf vollkommen dunklem Grunde projiciren, oder leuchtende Flächen mit einander verglichen werden.

Uebrigens tragen die ganzen photometrischen Untersuchungen BOND's, mit Ausnahme der auf chemische Intensitäten einiger Himmelskörper bezüglichen, so sehr den Character nur gelegentlich angestellter Versuche, dass ich anfangs überhaupt Anstand genommen hatte, dieselben hier zu besprechen.

Vergleicht man nun mit Berücksichtigung aller hier angeführten Umstände und der möglicherweise verschiedenen Durchsichtigkeit der Atmosphäre den von BOND erhaltenen Werth mit der aus meinen Beobachtungen abgeleiteten Zahl, besonders mit der oben p. 111 mitgetheilten, so muss die Abweichung unserer Werthe von ungefähr 15 bis 20 Procent verhältnissmässig gering erscheinen im Vergleich zu den grossen Unterschieden in den von BOUGUER und WOLLASTON erhaltenen Resultaten [2]).

40.

Die grossen Schwierigkeiten, mit denen die frühereren Beobachter bei der Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses von Sonne und Vollmond zu kämpfen hatten, waren wesentlich durch die bedeutende Intensitätsdifferenz bedingt, welche die hier in Betracht kommenden Lichtmengen darbieten. Diese Schwierigkeiten mussten sich demgemäss noch bedeutend steigern, wo es sich darum handelte, die Lichtmenge der Sonne als Vielfaches des von den Planeten ausgesandten Lichtes zu bestimmen. Es liegt in diesem Umstande zum

1) Ueber eine neue Beziehung der Retina zu den Bewegungen der Iris. POGGENDORFF's Ann. CXI, p. 481—499.

2) BOUGUER fand im Jahre 1725 für das Helligkeitsverhältniss von Sonne und Vollmond die Zahl 300000. Traité d'optique p. 87.

WOLLASTON giebt aus Beobachtungen im Jahre 1799 für dasselbe Verhältniss die Zahl 801072 an. Philos. Transact. Vol. CXIX, p. 27 (1829).

Theil der Grund, weshalb man sich bei den äusserst mangelhaften Versuchen, welche bisher zur Ermittelung dieser Lichtverhältnisse angestellt worden sind, eines indirecten Verfahrens bediente, indem man zunächst versuchte, das Helligkeitsverhältniss der Planeten zum Vollmonde zu bestimmen.

Die hierauf bezüglichen Versuche von STEINHEIL und J. HERSCHEL hat SEIDEL im Anhange seiner ersten Abhandlung, *über die gegenseitigen Helligkeiten der Fixsterne erster Grösse* etc. (p. 91) zusammengestellt und glaubt als Mittel aus diesen Bestimmungen annehmen zu dürfen, »dass in mittlerer Entfernung von der Erde der Vollmond etwa 24000 Mal heller ist, als ein Stern von der Helligkeit Wegas.«

Indessen geht SEIDEL bei Beurtheilung des HERSCHEL'schen Werthes, nach welchem der Vollmond 27408 Mal heller als α Centauri sein soll, noch von der falschen Annahme aus, dass sich die Helligkeit der Mondphasen mit Hülfe der LAMBERT'schen Formel auf die Helligkeit des Vollmondes reduciren lasse und glaubt sogar den alsdann noch übrig bleibenden Ueberschuss über den von STEINHEIL gefundenen Werth (Vollmond 17510 Mal heller als Arctur) durch den Einfluss des bei verschiedenen Phasen verschieden stark beleuchteten Himmelsgrundes erklären zu können[1]. Er fasst demgemäss seine Kritik des HERSCHEL'schen Werthes in folgenden Worten zusammen (l. c. p. 94):

> »Hieraus geht hervor, dass die obige Zahl 27400 für das Verhältniss von Vollmond zu Stern überhaupt der Wahrscheinlichkeit nach etwas zu gross sein muss, und in Anbetracht dieses Umstandes kann man mit ihrer Uebereinstimmung mit dem STEINHEIL'schen Resultate wohl zufrieden sein, und als eine Art von Mittel aus beiden (in sofern nach meinen und STEINHEIL's Messungen Wega etwas heller als Arctur, gewiss aber etwas schwächer als α Centauri ist) wird annehmen dürfen, dass in mittlerer

1) BOND hat in seinen »*Results of photom. experim. etc.*« p. 246 durch eine nach Monddistanzen geordnete Zusammenstellung der HERSCHEL'schen Fixsternbeobachtungen gezeigt, dass die verschiedene Erleuchtung des Himmelsgrundes bei Weitem nicht einen so grossen Einfluss ausübt, als von HERSCHEL angenommen wurde.

Entfernung von der Erde der Vollmond etwa 24000 Mal heller ist als ein Stern von der Helligkeit Wega's.«

Wenn man nun aber, ganz abgesehen von der oben erwähnten fehlerhaften Reduction der Phase, berücksichtigt, dass STEINHEIL nach einer ähnlichen Methode für das Helligkeitsverhältniss von Sonne und Vollmond einen 375 Mal (!) kleineren Werth als den wirklichen findet[1]), so wird man, gerade umgekahrt, zu der Annahme berechtigt sein, dass jene von SEIDEL für das Helligkeitsverhältniss des Vollmondes und der Wega angenommene Zahl, wahrscheinlich um Vieles zu klein ist. Jedenfalls erscheint mit Berücksichtigung des hier Bemerkten jener Werth als ein so unsicherer, dass es ausserordentlich gewagt wäre, irgend welche weiteren Schlüsse darauf zu bauen.

Im Jahre 1860 sind von BOND, bei Gelegenheit seiner mehrfach erwähnten »photometrischen Experimente« mit Hülfe der oben angeführten Methode, diese Versuche wieder aufgenommen worden. Er findet hierbei aus 10 Beobachtungen, welche auf vier verschiedene Tage vertheilt sind, dass der mittlere Vollmond 6430 Mal heller als Jupiter in seiner mittleren Opposition ist[2]). Da nun SEIDEL in seiner zweiten Abhandlung (p. 34) für diese Epoche den Jupiter 8.238 Mal heller als Wega findet, so würde sich hieraus für das Helligkeitsverhältniss des Vollmondes zur Wega die Zahl

52970

ergeben, welche, wie man sieht, schon mehr als doppelt so gross wie diejenige ist, welche SEIDEL oben für dieses Verhältniss angenommen hat.

Auf das hier Mitgetheilte beschränkt sich nun Alles, was wir bis jetzt über das Helligkeitsverhältniss der Sonne oder des Mondes zu den übrigen Himmelskörpern wissen. Die Unsicherheit der von verschiedenen Beobachtern erlangten Resultate ist, wie man sieht, eine so grosse, dass es vor allen Dingen geboten erschien, eine

---

1) Elemente der Helligkeitsmessungen am Sternenhimmel p. 32. München 1835. STEINHEIL findet hier die Sonne nur 1648 Mal heller als den Vollmond, legt indessen selbst auf diesen Werth, wie SEIDEL bemerkt, gar kein Gewicht.

2) Results of photom. experim. etc. p. 258.

geeignete Methode ausfindig zu machen, welche die Lichtquantitäten leuchtender Flächen mit denjenigen leuchtender Puncte photometrisch zu vergleichen gestattet, selbst wenn die hierbei auftretenden Lichtunterschiede eine so enorme Grösse erreichen, wie man es bei dem Helligkeitsverhältniss der Sonne zu einem Fixsterne im Voraus erwarten muss.

41.

Die Lösung dieser Aufgabe ist mir in folgender Weise gelungen. Wie oben auseinandergesetzt, stellt Fig. 2, Taf. III ein Photometer dar, mit welchem das Helligkeitsverhältniss von Sonne und Vollmond bestimmt wurde. Aus der Figur ist ersichtlich, dass das Objectivrohr EF des Apparates auf das Mittelstück, welches die planparalle Glasplatte enthält, aufgeschraubt ist, so dass jenes Rohr entfernt und an seiner Stelle ein anderes befestigt werden kann, welches eine Doppellinse von nur 2 Zoll Brennweite enthält. Diese Linse ist so gestellt, dass sie die aus unendlicher Ferne kommenden Strahlen in derselben Ebene zu einem Bilde vereinigt, in welcher die Bilder der beiden künstlichen Sterne des Photometers g und g' liegen. Der Einfachheit wegen will ich in der Folge das Objectivrohr EF kurz als »Combination I«, und das zuletzt erwähnte, mit der Doppellinse, als »Combination II« bezeichnen.

Richtet man nun mit Anwendung von Comb. I das Photometer auf den Mond und bestimmt, wie früher gezeigt, die Helligkeit desselben, vertauscht hierauf Comb. I mit Comb. II und misst die Helligkeit z. B. eines Sternes erster Grösse, so würde man aus den bei beiden Combinationen ermittelten Einstellungswerthen des Photometers das Helligkeitsverhältniss beider Gestirne berechnen können, wenn das Absorptionsverhältniss der beiden Combinationen bekannt wäre. Dieses Verhältniss habe ich einfach auf folgende Weise bestimmt.

Dem Photometer wurde in einer Entfernung von ungefähr 30 Fuss eine Petroleumlampe gegenüber gestellt, aus deren Flamme, in der früher beschriebenen Weise, der hellste Theil mit Hülfe eines Diaphragmas von c. 7^{mm} Durchmesser abgeblendet war. Da auch bei Anwendung von Comb. II eine sehr beträchtliche Verkleinerung

der durch das Photometer betrachteten Objecte eintritt, so erschien im Gesichtsfelde der aus der Flamme abgeblendete Theil stets als ein leuchtender Punct, welcher als solcher mit den künstlichen Sternen des Photometers verglichen werden konnte.

Durch Anwendung eines blauen Glases wurde in der früher erwähnten Weise die röthliche Farbe der Flamme in weisses Licht verwandelt.

Da die Absorption des Lichtes in Comb. I sehr beträchtlich viel stärker als in Comb. II ist, so musste bei der Letzteren, zur Abschwächung des Lichtes, ein Blendglas vor dem Objectiv befestigt werden, wozu ich dasjenige anwandte, dessen Absorptionscoëfficient oben mit *A* bezeichnet worden ist.

Unter diesen Bedingungen wurde nun abwechselnd bald die eine, bald die andere der beiden Combinationen am Photometer angebracht und jedesmal die Helligkeit des durch die Petroleumflamme gebildeten künstlichen Sternes gemessen.

Um einen Begriff von diesen Bestimmungen zu geben, mag hier die erste von den Beobachtungsreihen folgen, welche ich zu dem besagten Zwecke am 14. September 1864 angestellt habe. Die angegebenen Zahlen sind Mittelwerthe aus je zwei Einstellungen, welche in benachbarten Quadranten gemacht wurden. Selbstverständlich war hierbei, um die Absorption in Comb. I möglichst gering zu machen, der Objectivkreis stets auf 90° eingestellt, was bei den folgenden Angaben bemerkt ist: (O. K. = 90°).

Beobachtungen zur Bestimmung des Absorptionsverhältnisses der angewandten Linsencombinationen.

1864. September 14.

Anfang = $8^h\ 10^m$ Colorimeter = 7 Ende = $9^h\ 15^m$

Comb. II mit Blendgl. *A*.		Comb. I O. K. = 90°.	
No. 1	19°8	No. 4	4°1
» 2	20.0	» 5	4.0
» 3	19.7	» 6	4.3
» 7	19.7	» 10	4.0
» 8	20.0	» 11	4.1
» 9	19.7	» 12	3.9
Mittel = 19°8		Mittel = 4°1	

Man hat also mit Hülfe dieser Werthe und mit Berücksichtigung des Absorptionscoëfficienten A des angewandten Blendglases die folgende Gleichung:

$$\log \frac{\text{Comb. I}}{\text{Comb. II}} = \log \frac{\sin^2 19°8}{\sin^2 4°1} + \log A$$

Da nach unserer früheren Bestimmung (vgl. p. 87) gefunden wurde:

$$\log A = 1.8127$$

so erhält man:

$$\log \frac{\text{Comb. I}}{\text{Comb. II}} = 3.1653$$

Es wurden übrigens die einzelnen Messungen bei jeder Combination nicht hinter einander, sondern in einer den beigesetzten Nummern entsprechenden Reihenfolge angestellt, um auf diese Weise zugleich die Constanz der benutzten Lichtquellen zu controliren. In der angegebenen Weise habe ich nun aus 112 einzelnen Beobachtungen, welche auf fünf verschiedene Tage vertheilt sind, den Logarithmus des in Rede stehenden Absorptionsverhältnisses bestimmt und gefunden:

$$\log \frac{\text{Comb. I}}{\text{Comb. II}} = 3.1532 \pm 0.0172$$

Der verhältnissmässig grosse wahrscheinliche Fehler, welcher sich hier ergiebt, findet, wie früher bei Bestimmung des Absorptionscoëfficienten des Blendglases, in dem Umstande seine Erklärung, dass bei Anwendung von Comb. I die Helligkeit des künstlichen Sternes sehr schwach war. Dieser Uebelstand lässt sich bei späteren Untersuchungen, bei denen eine grössere Genauigkeit erforderlich ist, leicht beseitigen. Vorläufig kommt es mir im Wesentlichen nur darauf an, die Brauchbarkeit der angewandten Beobachtungsmethode nachzuweisen und zu zeigen, dass sich mit ihrer Hülfe schon bei verhältnissmässig geringem Zeitaufwande für die Helligkeitsverhältnisse der Sonne oder des Mondes zu den Planeten so constante Werthe ergeben, dass man mit Berücksichtigung derselben im Stande ist, weitere Schlüsse auf die physische Beschaffenheit jener Himmelkörper zu machen.

Das Wesentliche der beschriebenen Methode besteht also darin, dass man durch Anwendung einer geeigneten Linsencombination

(Comb. I) im Stande ist, jede, von einer leuchtenden Fläche ausgesandte, Lichtmenge in einen leuchtenden Punct von vollkommen sternartigem Ansehen zu verwandeln. Wäre die hierdurch erzeugte Lichtabsorption nicht eine so bedeutende, so könnte man dieselbe Combination auch unmittelbar auf Sterne anwenden, und auf diese Weise mit demselben Apparat z. B. die vom Monde ausgesandte Lichtmenge mit der eines Sternes erster Grösse vergleichen. Da dies jedoch aus dem angeführten Grunde nicht möglich ist, so musste noch die Einschaltung einer andern, weniger stark verkleinernden Linsencombination (Comb. II) bewerkstelligt werden, durch welche sich Sterne erster Grösse noch bequem beobachten lassen. Ist alsdann in der oben angegebenen Weise das Absorptionsverhältniss der beiden Combinationen ermittelt worden, so kann man offenbar die mit Anwendnng der einen Combination erhaltenen Beobachtungen auf die mit der andern gemachten reduciren und so eine Relation der gemessenen Lichtmengen herstellen.

42.

Für die beabsichtigten Untersuchungen schien es mir am zweckmässigsten, zunächst durch eine grössere Reihe von Beobachtungen das Helligkeitsverhältniss der Sonne zu einem der helleren Fixsterne festzustellen, so dass man alsdann jenen Stern nur mit den Planeten zu vergleichen braucht, um mit Hülfe der für Sonne und Fixstern gefundenen Zahl auch diejenige für das Helligkeitsverhältniss der Sonne zu den Planeten zu berechnen.

Ich wählte zu diesen Bestimmungen den hellsten Stern im Bilde des Fuhrmanns, α Aurigae oder Capella, und gebe in folgender Tabelle eine Zusammenstellung der an 11 verschiedenen Tagen, mit Anwendung von Comb. II, erhaltenen Helligkeitsbestimmungen dieses Sternes. Um auch hier die Vortrefflichkeit der Seidel'schen Extinctionstafel recht deutlich in die Augen springen zu lassen, sind unter der Rubrik »Log. d. beobacht. Helligkeit« unmittelbar die Logarithmen der Sinusquadrate des am Photometer abgelesenen Einstellungswinkels aufgeführt, welche Werthe alsdann durch Addition der angegebenen Zenithreductionen auf die, in der vorletzten Spalte

enthaltenen, Werthe reducirt wurden. In der dritten Spalte sind, wie früher, unter z die Zenithdistanzen des Gestirns angegeben.

Tabelle VII.

Photometrische Bestimmungen

der **Capella** mit Anwendung von Combination II.

No.	Datum.	z	Log. der beob-acht. Helligkeit.	Zahl der Beob.	Log. d. Zenith-reduction.	Log. d. reducir-ten Helligkeit.	Abweichung vom Mittel.
1	1864. Nov. 4	54°3	7.7828	(4)	0.063	7.8458	+0.0333
2	Nov. 10	30.0	7.8269	(4)	0.007	7.8339	+0.0214
3	Nov. 12	29.0	7.7924	(4)	0.007	7.7994	−0.0131
4	Nov. 17	15.5	7.8270	(6)	0.001	7.8280	+0.0155
5	Nov. 20	57.5	7.7284	(6)	0.080	7.8084	−0.0041
6	Nov. 23	58.5	7.7364	(6)	0.086	7.8224	+0.0099
7	Nov. 27	15.5	7.7946	(6)	0.001	7.7956	−0.0169
8	Nov. 29	20.0	7.7698	(4)	0.003	7.7728	−0.0397
9	Nov. 30	42.5	7.7662	(8)	0.022	7.7882	−0.0243
10	Dec. 11	61.6	7.7064	(8)	0.109	7.8154	+0.0029
11	Dec. 12	32.9	7.8178	(10)	0.010	7.8278	+0.0153
					Mittel =	7.8125	± 0.0047

Für die wahrscheinliche Abweichung eines einzelnen Abends ergiebt sich die Zahl

$$\pm\ 0.0148$$

was ungefähr 3.5 Procent der gemessenen Helligkeit beträgt. Betrachtet man diese Schwankungen lediglich als durch die Veränderungen der atmosphärischen Durchsichtigkeit bedingt, so resultirt hier, wie man sieht, bei Benutzung einer grösseren Anzahl von Beobachtungsnächten, ein weit kleinerer Werth als der früher, bei Benutzung von nur 4 Abenden, gefundene. Gleichzeitig liefern diese Beobachtungen, wie die bisher mitgetheilten, den Beweis, dass

man die angewandte künstliche Lichtquelle, mit Rücksicht auf die atmosphärischen Einflüsse, als vollkommen constant voraussetzen darf.

Wir besitzen nun alle Data, um das Helligkeitsverhältniss der Sonne zur Capella zu berechnen. Es wurde oben (p. 110) der Logarithmus der Sonnenhelligkeit ($\log Q$) mit Anwendung von Comb. I bei einer Einstellung des Objectivkreises auf 90° ermittelt. Um also die Helligkeit zu finden, welche die Sonne bei Anwendung von Comb. II zeigen würde, hat man zu jenem Logarithmus nur $\log \frac{\text{Comb. I}}{\text{Comb. II}}$ (vgl. p. 122) zu addiren, und kann den alsdann erhaltenen Werth mit dem für Capella mit derselben Linsencombination (Comb. II) gefundenen Werth vergleichen. Hiernach ergiebt sich zur Berechnung des gesuchten Verhältnisses das folgende Schema, wobei durch die, den Buchstaben Q (Sonne) und q (Capella) beigesetzten, Striche die entsprechenden Linsencombinationen angedeutet sind, auf welche sich der betreffende Werth bezieht.

Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses der mittleren Sonne zur Capella.

1. Sonne.

$$\log Q' = 5.4056 \pm 0.0095$$

$$\log \frac{\text{Comb. I}}{\text{Comb. II}} = 3.1532 \pm 0.0172$$

$$\log Q'' = 8.5588 \pm 0.0196$$

2. Capella.

$$\log q'' = 7.8125 \pm 0.0047$$

folglich:

$$\log \frac{Q''}{q''} = 10.7463 \pm 0.0200$$

$$\frac{Q''}{q''} = 55\,760\,000\,000$$

mit einem wahrscheinlichen Fehler von c. 5 Procent dieses Werthes.

Dass bei der Charakteristik des Logarithmus für die Helligkeit Capella's die decadische Ergänzung angebracht ist und bei den andern Logarithmen fehlt, kann nicht zu Missverständnissen führen. Es wird dieses Verfahren daher auch bei den folgenden Berechnungen zur Vermeidung negativer Zahlen in Anwendung kommen.

43.

Die folgende Tabelle enthält eine übersichtliche Zusammenstellung der Resültate, welche sich aus meinen Helligkeitsbestimmungen an Mars und Capella ergeben haben. Die Beobachtungen sind sämmtlich mit Anwendung von Combination II angestellt worden, wodurch namentlich der Vortheil erreicht wurde, dass Mars im Gesichtsfelde des Photometers nicht zu hell erschien und hierdurch vermöge seiner Farbe die Sicherheit der Einstellungen fast gar nicht beeinträchtigte. Die unter der Bezeichnung Log. »$\frac{\text{Mars}}{\text{Capella}}$« angegebenen Zahlen bedeuten die Logarithmen des Helligkeitverhältnisses beider Sterne, wie sich dasselbe nach Anbringung der Zenithreduction unmittelbar aus den Beobachtungen ergab. Die angegebene Zahl der Beobachtungen bezieht sich auf beide Sterne, so dass auf jeden die Hälfte der Einstellungen kommt. Unter v sind, wie früher beim Monde, die Phasenwinkel aufgeführt, welche aus den im Berliner Jahrbuch angegebenen Daten für jeden Beobachtungsabend berechnet wurden. In der hierauf folgenden Spalte sind die beobachteten Helligkeitsverhältnisse alle auf die constante Entfernung 1 der Sonne und der Erde von Mars reducirt worden, wobei als Einheit, wie gewöhnlich, die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne angenommen ist. Die Unterschiede, welche demnach die Zahlen dieser Spalte zeigen, sind lediglich nur durch die Aenderungen der Phase des Mars bedingt, so dass, wie man sieht, der Opposition ($v = 180^0$) ein Maximum der Helligkeit entspricht.

Um diese Abhängigkeit der Lichtstärke von der Phasengrösse noch deutlicher erkennen zu lassen und gleichzeitig eine unmittelbare Vergleichung mit den früher beim Monde erhaltenen Werthen zu gestatten, sind in der letzten Columne die Helligkeiten des Mars, soweit diese von der Phase abhängen, in Procenten der Oppositionshelligkeit ausgedrückt. Man braucht diese Werthe nur als Ordinaten in das Taf. IV gegebene Coordinatensystem einzutragen, um eine Vergleichung mit dem Phasenerleuchtungsgesetze des Mondes zu erhalten.

Tabelle VIII.

Photometrische Bestimmungen von **Mars** und **Capella**.

No.	Datum.	v	Log. $\frac{\text{Mars}}{\text{Capella}}$.	Zahl der Beob.	Log. d. reducirten Helligkeit.	Helligkeiten der Marsphase in Procenten der Opp.-Helligk.
1	1864. Sept. 5. $12^h\,45^m$	135°5	0.1838	(8)	0.3716	43.8
2	Sept. 10. $11^h\,22^m$	136.0	0.2128	(12)	0.3714	43.8
3	Sept. 14. $11^h\,52^m$	136.7	0.2720	(8)	0.4124	48.1
4	Sept. 28. $10^h\,47^m$	139.7	0.3578	(8)	0.4184	48.8
5	Oct. 4. $10^h\,22^m$	141.5	0.3772	(8)	0.4030	47.1
6	Nov. 10. $10^h\,37^m$	161.5	0.7017	(8)	0.5335	63.6
7	Nov. 12. $10^h\,47^m$	163.3	0.7022	(8)	0.5290	62.9
8	Nov. 17. $11^h\,48^m$	168.0	0.7479	(12)	0.5667	68.6
9	Nov. 23. $6^h\,45^m$	172.0	0.7720	(12)	0.5878	72.0
10	Nov. 27. $10^h\,5^m$	175.9	0.8319	(12)	0.6527	83.7
11	Nov. 29. $11^h\,5^m$	176.1	0.8556	(12)	0.6810	89.3
12	Nov. 30. $8^h\,0^m$	180.0	0.9018	(12)	0.7302	100.0
13	Dec. 11. $9^h\,10^m$	189.6	0.7588	(8)	0.6366	80.6
14	Dec. 12. $8^h\,23^m$	190.0	0.7154	(12)	0.5982	73.8
15	1865. Jan. 17. $6^h\,20^m$	212.0	0.2927	(16)	0.4961	58.3

Die Vergleichung dieser Tabelle mit der früher für den Mond erhaltenen zeigt, dass die Helligkeit beim Mars sich in der Nähe der Opposition noch bedeutend schneller als beim Monde ändert, oder dass die Intensitätscurve für diesen Planeten steiler als die des Mondes ist.

Will man diese Curve theoretisch, durch die früher gegebene Formel (44), darstellen, so gelingt dies nur bis zu 10° oder 15° zu beiden Seiten der Opposition, also etwa von $v = 165°$ bis zu

$v = 195^0$. Der Werth, welchen man hierbei dem Elevationswinkel β beilegen muss, ist ungefähr

$$\beta = 76^0$$

Ueber die angegebenen Werthe von v hinaus jedoch reicht das erste Glied unserer Formel nicht mehr zur Darstellung der Lichtmengen aus, indem die empirische Curve schon bei $v = 160^0$ eine weit geringere Steigung als die theoretische zeigt.

Vergleicht man diese Resultate mit den Beobachtungen SEIDEL's, welche derselbe an Mars und Capella angestellt und in seiner zweiten Abhandlung[1]) im Jahre 1859 veröffentlicht hat, so zeigt sich in Betreff der lediglich von der Phase abhängigen Lichtveränderungen, im Allgemeinen eine Uebereinstimmung mit meinen Beobachtungen, vorzugsweise in der Nähe der Opposition.

Dagegen findet zwischen den Werthen, welche SEIDEL und ich für das Helligkeitsverhältniss von Capella und Mars in mittlerer Opposition erhalten, ein sehr bedeutender Unterschied statt, indem sich bei Ersterem hierfür ein viel kleinerer Werth als der meinige ergiebt.

Ich erkläre mir diesen Unterschied im Wesentlichen durch die rothe Farbe des Mars, da auch ich, bezüglich meiner Beobachtungen, zu demselben Resultate gekommen bin, wie SEIDEL bezüglich der HERSCHEL'schen. In seiner ersten Abhandlung[2]) bemerkt nämlich SEIDEL p. 58 Folgendes:

»Was die HERSCHEL'schen Bestimmungen angeht, so ist es unverkennbar, dass das Auge desselben, im Vergleich mit den hiesigen Beobachtern, mehr für das rothe Licht empfindlich ist;... Dass die grünliche Farbe der Objectivgläser des Photometers in diesem Sinne wirken muss, ist unzweifelhaft; aber kaum weniger gewiss scheint es mir, dass sie nur den kleinsten Theil des Unterschiedes erklären kann, indem ich auch nach dem Urtheil des freien Auges α Tauri durchaus nicht mehr als die halbe Helligkeit von dem Stern des kleinen Hundes beilegen könnte, und ebenso Arcturus nicht den Rang vor Wega geben kann.«

---

1) Untersuchungen über d. Lichtst. d. Planeten Venus, Mars, Jupiter und Saturn etc.

2) Unters. über die gegens. Helligk. d. Fixsterne etc.

Das, was SEIDEL hier von den HERSCHEL'schen Bestimmungen sagt, gilt auch von den meinigen. Ich glaube daher, dass der Einfluss der grünlichen Färbung des Objectivs von SEIDEL doch zu gering angeschlagen wird, zumal wenn man die mehrfach hervorgehobene, schöne Anwendbarkeit der SEIDEL'schen Extinctionstafel auf meine Beobachtungen berücksichtigt, so wie die später hervorzuhebende, vortreffliche Uebereinstimmung unserer Jupiters- und Saturns-Beobachtungen.

Wenn nun aber SEIDEL, p. 41 seiner zweiten Abhandlung, die Uebereinstimmung seiner an Mars angestellten Beobachtungen als einen Beweis für die Richtigkeit der LAMBERT'schen Formel ansieht und bemerkt, dass Mars »der Rechnung nach zur Zeit der ersten Messungen des Jahres 1845, wo er sich in Opposition und in der Erdnähe befand, 27 Mal heller sein sollte als Mitte Mai 1852; die Beobachtungen gaben 31 : 1 für das Verhältniss der beiden extremen Helligkeiten, in welchen er gesehen wurde,« so glaube ich dieser Ansicht widersprechen zu müssen.

Denn abgesehen davon, dass der angeführte Unterschied zwischen Rechnung und Beobachtung sich bis auf 15 Procent beläuft und zu Gunsten einer viel steileren Curve spricht, als die LAMBERT'sche ist, geht aus der oben erwähnten Gestalt der von mir gefundenen Curve hervor, dass gerade die Vergleichung der extremen Helligkeiten, für das Gesetz der Helligkeitsänderungen sehr unzweckmässig sein muss. Trägt man nämlich die in der letzten Spalte der Tabelle VIII angegebenen Werthe als Ordinaten zu den entsprechenden Abscissen in Taf. IV ein, und legt alsdann durch die erhaltenen Puncte eine Curve, so muss dieselbe bei fortgesetzter Verlängerung ihres unteren Zweiges die punctirte LAMBERT'sche Curve schneiden.

Je näher also eine Beobachtung diesem Durchschnittspuncte liegt, desto besser wird die nach der LAMBERT'schen Formel berechnete Helligkeit in der Opposition mit der beobachteten übereinstimmen.

44.

Aus dem in der Tabelle zur Zeit der Opposition für Mars und Capella gefundenen Helligkeitsverhältnisse lässt sich nun, mit Rücksicht auf das oben ermittelte Helligkeitsverhältniss zwischen Sonne und Capella[1], das Intensitätsverhältniss für Sonne und Mars berechnen. Um jedoch die verschiedenen Abstände des Mars und der übrigen Planeten von der Sonne und Erde zur Zeit der Opposition auf einen Normalabstand zu reduciren, will ich, nach dem Vorgange Seidel's, die Helligkeitsverhältnisse der oberen Planeten zur Sonne für die Zeit der mittleren Opposition berechnen. Es ist dies diejenige Constellation, bei welcher die Erde sich in der geraden Linie von der Sonne nach dem Planeten, zwischen beiden, und in ihrer mittleren Entfernung von der Sonne (= 1) befindet, während zugleich auch die Entfernung des Planeten von der Sonne ihren Mittelwerth hat.

Selbstverständlich ist hierbei jede Reduction der Phase nach der Lambert'schen Formel zu vermeiden, da sich dieselbe, wie wir gesehen, auch für den Mars als vollständig ungenügend erwiesen hat. Es dürfen sich daher unsere Reductionen auf mittlere Opposition lediglich nur auf die Entfernungen, nicht auf die Phasen der Planeten beziehen, so dass in der Oppositionsnacht, wie oben beim Mars, wirklich eine Helligkeitsbestimmung stattgefunden haben muss. Beim Mars nehme ich für die mittlere Entfernung von der Sonne die Zahl 1.52369 an. Da sich zufällig in der Beobachtungsnacht 1864. Nov. 30 Mars sehr nahe in seinem mittleren Sonnenabstande befand, so wird der oben, direct aus den Beobachtungen abgeleitete Werth nur um zwei Einheiten der 4ten Decimale geändert, so dass sich jetzt die Berechnung des mittleren Helligkeitsverhältnisses von Sonne und Mars folgendermassen gestaltet.

---

1) Vergl. p. 125.

Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses der mittleren Sonne zu Mars in mittlerer Opposition.

$$\log \frac{\text{mittl. Sonne}}{\text{Capella}} = 10.7463 \pm 0.0200$$

$$\log \frac{\text{Mars, mittl. Opp.}}{\text{Capella}} = 0.9016 \pm 0.0148$$

$$\log \frac{\text{mittl. Sonne}}{\text{Mars, mittl. Opp.}} = 9.8447 \pm 0.0247$$

$$\frac{\text{mittl. Sonne}}{\text{Mars, mittl. Opp.}} \doteq 6\,994\,000\,000$$

mit einem wahrscheinlichen Fehler von 5.8 Procent dieses Werthes.

Ich habe hierbei den wahrscheinlichen Fehler für $\log \frac{\text{Mars}}{\text{Capella}}$ ebenso angesetzt, wie er sich bei den photometrischen Bestimmungen der Capella (p. 124) für den Werth eines einzelnen Abends ergeben hatte. Es ist dieser Werth für das hier in Betracht kommende Verhältniss jedenfalls weit eher zu gross als zu klein.

In Betreff des von Seidel für das Helligkeitsverhältniss von Mars in mittlerer Opposition zur Capella erhaltenen Werthes sei hier nur bemerkt, dass derselbe mehr als doppelt so klein als der von mir gefundene ist. Es kann dies durchaus nicht überraschen, wenn man berücksichtigt, dass Seidel zur Berechnung jenes Verhältnisses seine sämmtlichen Beobachtungen benutzt und alle mit Hülfe der Lambert'schen Formel auf die mittlere Opposition reducirt.

Uebrigens lässt sich aus der von Seidel auf Seite 21 seiner zweiten Abhandlung gegebenen Zusammenstellung der Helligkeiten des Mars in mittlerer Opposition, die Unzulänglichkeit der Lambert'schen Formel im Sinne der oben gegebenen empirischen Curve ganz unzweideutig erkennen. Es sind dort in Spalte 8 der gegebenen Tabelle die Logarithmen für die Helligkeitsverhältnisse des Mars in mittlerer Opposition zu verschiedenen Sternen erster Grösse angegeben.

Die Reduction auf diese Epoche ist mit Hülfe der Lambert'schen Formel bewerkstelligt, so dass jene Werthe, alle auf denselben Stern reducirt, übereinstimmen müssten, falls die Lambert'sche Formel anwendbar wäre.

Ich habe nun für zwei Extreme dieser Werthe den Phasenwinkel v berechnet und mit den von SEIDEL für den Logarithmus des mittleren Helligkeitsverhältnisses von Mars und Wega gefundenen Grössen zusammen gestellt. Es ergab sich:

		v	$\log \frac{\text{Mars, mittl. Opp.}}{\text{Wega}}$
(Beob. No. 77.)	1845. Nov. 5.	139°	0.360
(Beob. » 390.)	1858. Mai 21.	175°	0.604

Wie man sieht, weichen die beiden Zahlen, welche jenen Logarithmen entsprechen, fast um das Doppelte ihres eigenen Werthes von einander ab und gleichzeitig entsprechen diesen Werthen zwei Extreme von v. Die Abweichungen liegen ganz im Sinne eines viel steileren Ansteigens der Intensitätscurve, wie sich dieselbe aus meinen Beobachtungen ergiebt, so dass trotz des bei beiden Beobachtungen von SEIDEL als etwas verdächtig angegebenen Luftzustandes, das Zusammenfallen der beiden Extreme von v und der Helligkeitsdifferenzen mir kein zufälliges, nur durch Beobachtungsfehler bedingtes, zu sein scheint.

45.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Jupitersbeobachtungen, welche innerhalb der letzten drei Jahre an verschiedenen Tagen von mir erhalten worden sind. Ich habe alle Beobachtungen auf das Helligkeitsverhältniss Jupiters zur Wega reducirt, mit welchem Sterne Jupiter jedoch nur an zwei Tagen (1863 Mai 10 und 1864 Sept. 28), direct, an den andern aber indirect verglichen wurde. Bei der Beobachtung No. 1 ist Jupiter direct mit Denebola (*β Leonis*), bei den drei übrigen (Nr. 2—No. 4) mit Spica (*α Virginis*) verglichen worden. — Als Mittel aus den Beobachtungen verschiedener Tage erhielt ich:

$$\log \frac{\text{Spica}}{\text{Wega}} = 9.6013$$

$$\log \frac{\text{Denebola}}{\text{Wega}} = 9.1043$$

und mit Hülfe dieser Werthe wurde die Reduction aller Beobachtungen auf Wega bewerkstelligt.

Unter der Bezeichnung »Log. d. reduc. Helligk.« ist das Helligkeitsverhältniss von Jupiter zur Wega angegeben, wie es stattfinden würde, wenn man sich Jupiter in die Entfernung 1 sowohl vom Beobachter als auch von der Sonne versetzt denkt, so dass die auf diese Weise reducirten Helligkeiten lediglich den Einfluss des Phasenwinkels v erkennen lassen müssen, falls ein solcher überhaupt vorhanden ist. Diese Reduction auf die Einheit der Entfernungen empfiehlt sich besonders durch ihre Einfachheit, mit welcher sie aus den im Berliner Jahrbuch gegebenen Daten bewerkstelligt werden kann. Man hat nämlich zu dem Logarithmus des direct beobachteten Helligkeitsverhältnisses, welches unter der Bezeichnung »$\text{Log}\,\frac{\text{Jupiter}}{\text{Wega}}$« angegeben ist, nur den doppelten Logarithmus des Productes aus Radiusvector und Erdabstand des Planeten zur Zeit der Beobachtung zu addiren.

Tabelle IX.

Photometrische Bestimmungen
von
Jupiter und Wega.

No.	Datum.	v	$\text{Log}\,\frac{\text{Jupiter}}{\text{Wega}}$	Zahl der Beob.	Log. der reducirten Helligk.	Abweichung vom Mittel.
1	1862. Mai 7	171°0	0.8414	(16)	3.6868	− 0.3134
2	1863. Apr. 10	178.8	0.9221	(12)	3.6919	− 0.0083
3	Mai 4	175.9	0.9220	(8)	3.7032	+ 0.0030
4	Mai 8	175.4	0.8837	(8)	3.6697	− 0.0305
5	Mai 10	174.9	0.9261	(12)	3.7145	+ 0.0143
6	1864. Spt. 28	171.8	0.7287	(12)	3.7353	+ 0.0351
					Mittel = 3.7002	± 0.0062

Diese Tabelle zeigt zunächst, dass die früher beim Monde und in noch stärkerem Masse beim Mars hervortretenden Helligkeitsänderungen in der Nähe der Opposition, beim Jupiter nicht stattfinden.

Wie man sieht, beträgt zwar die Differenz der extremen Werthe von v nur 8^0. Vergleicht man jedoch hiermit die bei einem gleichen Abstande von der Opposition stattfindende Helligkeitsdifferenz beim Mars, so zeigt sich, dass hier schon bei einem Werthe von $v = 172^0$, die Helligkeit eine um 18 Procent geringere als in der Opposition ist. Dagegen lassen die obigen, für Jupiter gefundenen, Werthe auch nicht entfernt eine solche Abhängigkeit erkennen, indem vielmehr gerade die grösste der vorkommenden Helligkeitsdifferenzen zwischen den Beobachtungen No. 4 und No. 6, von ungefähr 15 Procent, gerade im entgegengesetzten Sinne liegt. Deshalb ist das arithmetische Mittel aus allen Beobachtungen genommen, für welches sich ein wahrscheinlicher Fehler von nur 1.5 Proc., und für den einzelnen Abend von 3.6 Proc. des gemessenen Helligkeitsverhältnisses ergiebt. Da die mittlere Entfernung des Jupiters von der Sonne gleich 5.20277 und demgemäss zur Zeit der mittleren Opposition seine Entfernung von der Erde gleich 4.20277 ist, so erhält man mit dem oben für die reducirte Helligkeit gefundenen Werthe,

$$\log \frac{\text{Jupiter, mittl. Opp.}}{\text{Wega}} = 1.0205 \pm 0.0062$$

46.

Um diesen Werth auf Capella zu reduciren und hierdurch mit Rücksicht auf das früher Gefundene eine Relation Jupiters zur Sonne zu erhalten, folgt hier zunächst eine Zusammenstellung der auf das Zenith gehörig reducirten Werthe für das Helligkeitsverhältniss von Wega und Capella.

Tabelle X.

Photometrische Bestimmungen
von
Wega und Capella.

No.	Datum.		Log $\frac{\text{Wega}}{\text{Capella}}$	Abw. vom Mittel.	Zahl der Beob.	Zenithdistanz von Wega	Zenithdistanz von Capella.
1	1862.	Sept. 25	9.9972	+ 0.0095	(20)	57°	48°
2		Sept. 30	0.0390	+ 0.0513	(16)	55	49
3		Oct. 3	9.9914	+ 0.0037	(12)	54	51
4		Oct. 14	9.9872	— 0.0005	(8)	61	45
5		Oct. 23	0.0288	+ 0.0411	(8)	54	50
6		Dec. 1	9.9282	— 0.0595	(8)	50	53
7		Dec. 2	9.9398	— 0.0479	(16)	51	52
8	1863.	Apr. 16	9.9917	+ 0.0040	(8)	62	65
9		Mai 10	0.0111	+ 0.0234	(12)	63	64
10	1864.	Dec. 7	9.9623	— 0.0254	(16)	26	61
	Mittel = 9.9877 ± 0.0077						

Hieraus ergiebt sich für den wahrscheinlichen Fehler des Mittels c. 1.8 Procent und für den eines einzelnen Abends c. 5.8 Procent des gemessenen Helligkeitsverhältnisses. Die grösste der vorkommenden Abweichungen, zwischen den Beobachtungen No. 2 und No. 6, beträgt 29 Procent. Vergleicht man hiermit die wahrscheinlichen Fehler, welche oben in Tab. VII für die Helligkeitsbestimmungen an Capella allein erhalten wurden, so ergab sich dort für das Mittel aus 11 Beobachtungstagen 1.1 Procent und für einen einzelnen Abend 3.5 Procent. Die grösste Abweichung zweier Werthe (Beob. No. 1 und No. 8) beträgt nur 18.3 Proc. Wird nun berücksichtigt, dass bei diesen Bestimmungen weder die Aenderungen der Lichtquelle noch der Durchsichtigkeit der Atmosphäre eleminirt waren, was nothwendig bei den relativen Vergleichungen zwischen Capella uud Wega der Fall sein musste, so gewinnt die Vermu-

thung, dass Wega ein veränderlicher Stern sei, eine ziemlich grosse Wahrscheinlichkeit[1]).

Mit Hülfe der obigen Werthe erhält man nun:

$$\log \frac{\text{Jupiter m. O.}}{\text{Wega}} = 1.0205 \pm 0.0062$$
$$\log \frac{\text{Wega}}{\text{Capella}} = 9.9877 \pm 0.0077$$
$$\log \frac{\text{Jupiter m. O.}}{\text{Capella}} = 1.0082 \pm 0.0085$$

Vergleicht man hiermit die von SEIDEL für dieselben Grössen erhaltenen Werthe (vgl. II. Abhandl. p. 31 und p. 34), so ergiebt sich:

$$\log \frac{\text{Jupiter m. O.}}{\text{Wega}} = 0.9125$$
$$\log \frac{\text{Wega}}{\text{Capella}} = 0.0939$$
$$\log \frac{\text{Jupiter m. O.}}{\text{Capella}} = 1.0064$$

Diese fast vollkommene Uebereinstimmung unserer Werthe darf man, wie ich glaube, nicht als eine zufällige betrachten, sondern als eine wesentlich durch die sehr nahe gleiche, (gelbliche) Farbe beider Himmelskörper bedingte. Ebenso erkläre ich es mir, dass SEIDEL die Wega mit bläulich weissem Lichte von grösserer Helligkeit als die gelbliche Capella findet. Ob hieran lediglich die, bereits oben erwähnte, grünliche Färbung des Objectivs am STEINHEIL'schen Prismenphotometer Schuld ist, oder gleichzeitig ein individueller Unterschied unserer Augen, wage ich vorläufig noch nicht zu entscheiden.

Für die Berechnung des Helligkeitsverhältnisses von Sonne und Jupiter in mittlerer Opposition erhält man nun Folgendes:

1) Wie ich gehört, ist Herr Professor SCHWERD in Speyer bei seinen photometrischen Messungen zu einem ähnlichen Resultate gelangt.

Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses der mittleren Sonne zu Jupiter in mittlerer Opposition.

$$\log \frac{\text{mittl. Sonne}}{\text{Capella}} = 10.7463 \pm 0.0200$$

$$\log \frac{\text{Jupiter m. O.}}{\text{Capella}} = 1.0082 \pm 0.0085$$

$$\log \frac{\text{mittl. Sonne}}{\text{Jupiter m. O.}} = 9.7381 \pm 0.0236$$

$$\frac{\text{mittl. Sonne}}{\text{Jupiter m. O.}} = 5\,472\,000\,000$$

mit einem wahrscheinlichen Fehler von 5.7 Proc. dieses Werthes.

47.

Die Reduction der Saturnsbeobachtungen auf eine bestimmte Epoche kann wegen der verschiedenen Lage des die Planetenkugel umgebenden Ringes nicht in so einfacher Weise wie bei den übrigen Planeten bewerkstelligt werden.

Bekanntlich hat SEIDEL im Anhange zu seiner zweiten Abhandlung[1]) eine ausführliche Theorie der veränderlichen Lichtstärke des Saturn gegeben, wobei er voraussetzte, dass sich LAMBERT's photometrisches Grundgesetz sowohl auf die Elemente der Kugel als auch auf die des Ringes anwenden lasse. Ob diese Voraussetzung richtig sei, lässt sich empirisch für die Kugel aus dem blossen Anblick derselben nicht entscheiden, desto leichter dagegen für den Ring.

Es ist bereits im ersten Theile dieser Schrift ausführlich erörtert worden, dass eine ebene Fläche, deren Elemente den LAMBERT'schen Principien Genüge leisten sollen, ihre scheinbare Helligkeit proportional dem Cosinus des Incidenzwinkel der auffallenden Lichtstrahlen ändern muss. Betrachtet man daher den Saturnsring als eine solche Ebene, wie das SEIDEL bei seinen theoretischen Untersuchungen thut, so müsste sich, zur Zeit der Opposition, die scheinbare Helligkeit des Ringes zu derjenigen eines centralen Elementes der Kugel wie der Cosinus des Incidenzwinkels zur Einheit verhalten. Dieser Incidenzwinkel betrug z. B. in dem von SEIDEL als Rech-

1) Untersuchungen über die Lichtstärke der Planeten etc. p. 57 ff.

nungsbeispiel für seine Theorie betrachteten Falle (1852. März 15), ungefähr 72°. Da nun Cos 72° = 0.31, so musste die Helligkeit des Ringes über drei Mal schwächer als diejenige eines mittleren Theiles der Kugel sein. Eine so bedeutende Helligkeitsdifferenz würde uns aber den Ring im Vergleich zur weissen Saturnskugel als grau erscheinen lassen, eine Folgerung, welcher auf das Entschiedenste durch die einfache Betrachtung des Saturns im Fernrohre widersprochen wird.

Schon der ältere HERSCHEL sagt ausdrücklich: »*The ring reflects more light than the body, and with a power of* 570 *the colour of the body becomes yellowish, while that of the ring remains more white*« (Phil. Trans. Vol. XCV p. 273). Es ist also das LAMBERT'sche Grundgesetz auf den Saturnsring nicht anwendbar.

Man hätte auch *a priori* durch die einfache Ueberlegung zu diesem Resultate gelangen können, dass die Oberfläche des Ringes aller Wahrscheinlichkeit nach eine gewisse Rauhigkeit besitzen muss, wäre es auch nur diejenige eines geackerten Feldes oder eines mit Sand bestreuten Weges. Ein Blick auf die in Fig. 3, Taf. III dargestellte rauhe Fläche $a'b'$ lehrt, dass eine solche unter einem sehr schiefen Winkel betrachtet, und gleichzeitig unter einem nahezu gleichen Winkel beleuchtet, nicht nur nicht schwächer, sondern sogar heller als bei senkrechter Bestrahlung erscheinen muss. Es finden demnach hier genau dieselben Betrachtungen Anwendung, welche oben (p. 115) zu dem Resultate führten, dass der Vollmond am Rande heller als in der Mitte sein muss, während gerade das Gegentheil stattfinden müsste, wären die LAMBERT'schen Voraussetzungen richtig.

Die angeführten Gründe haben mich bestimmt, an Stelle der von SEIDEL aufgestellten Theorie der Lichtstärke des Saturn vorläufig eine andere, bedeutend einfachere zu setzen, welche den Beobachtungen, wie man sehen wird, bis auf unbedeutende Abweichungen sehr befriedigend entspricht.

Ich mache hierbei die Voraussetzung, dass die scheinbare Helligkeit des Saturnsringes im Allgemeinen mit derjenigen der Kugel übereinstimme und von dem Incidenzwinkel der Sonnenstrahlen bis sehr nahe zu der

Epoche, wo die Sonne in der Ringebene steht, unabhängig sei[1]. Lässt man demnach vorläufig den Schattenwurf des Ringes auf die Kugel und der letzteren auf den Ring unberücksichtigt, so wird es sich nur darum handeln, eine Formel aufzustellen, welche die Flächengrösse der von der Erde aus sichtbaren Ringprojection nach Abzug zweier Flächentheile ausdrückt, von denen der eine vor, der andere hinter der Saturnskugel liegt. Betrachtet man die Ellipsenbögen des äussern und innern Ringrandes, welche diese, perspectivisch in die Saturnsscheibe fallenden, Flächen begrenzen, als gerade Linien, so führt eine kurze, trigonometrische Entwickelung zu einem sehr einfachen Ausdruck, durch welchen man die beobachtete Helligkeit des Saturn zu dividiren hat, um die von der Saturnskugel ohne Ring ausgesandte Lichtmenge zu erhalten.

Den Halbmesser der Saturnskugel als Einheit genommen bedeute:

r den Radius des äussern Ringrandes,

r' den Radius des innern Ringrandes,

l den Erhöhungswinkel der Erde über der Ringebene, vom Mittelpunct des Saturn aus gesehen.

Ist alsdann in Fig. 1, Taf. V die Fläche des Papiers die Projectionsebene, welche senkrecht zur Verbindungslinie des Saturn mit der Erde steht, so handelt es sich nur darum, die Fläche $bcc'b'$ als Function von l auszudrücken.

Bezeichnet man den Winkel aCc mit φ und aCc' mit φ', so hat man für die Sectoren:

$$aCc : aCB = \varphi : \frac{\pi}{2}$$

oder, da der Radius des Kreises um C gleich der Einheit gesetzt ist:

$$aCc = \frac{\varphi}{2}$$

$$aCc' = \frac{\varphi'}{2}$$

---

1) Die Gründe für diese Annahme kann man sich am einfachsten veranschaulichen, wenn man sich eine rauhe Fläche von der in Fig. 3, Taf. III angegebenen Beschaffenheit bei sehr schiefer Incidenz beleuchtet und ziemlich nahe aus derselben Richtung betrachtet denkt.

Ferner ist:

$$Cbc = \frac{\sin\varphi\cos\varphi}{2}$$
$$Cb'c' = \frac{\sin\varphi'\cos\varphi'}{2}$$

folglich:

$$abc = \tfrac{1}{2}(\varphi - \sin\varphi\cos\varphi)$$
$$ab'c' = \tfrac{1}{2}(\varphi' - \sin\varphi'\cos\varphi')$$

Man hat demnach für die gesuchte Fläche:

$$bcc'b' = \tfrac{1}{2}(\varphi' - \varphi + \sin\varphi\cos\varphi - \sin\varphi'\cos\varphi')$$

Es ist nun aber mit Berücksichtigung der obigen Bezeichnungen:

$$Cb = \cos\varphi = r\sin l$$
$$Cb' = \cos\varphi' = r'\sin l$$

Mit Hülfe dieser Grössen erhält man für die nicht mit der Saturnskugel zusammenfallenden Theile der Ringprojection den folgenden Ausdruck:

$$\pi(r^2 - r'^2)\sin l - 2(\varphi' - \varphi + \sin\varphi\cos\varphi - \sin\varphi'\cos\varphi')$$

oder, die um C beschriebene Kreisfläche als Einheit genommen:

$$(r^2 - r'^2)\sin l - \frac{2}{\pi}(\varphi' - \varphi + \sin\varphi\cos\varphi - \sin\varphi'\cos\varphi') = p$$

Unseren Voraussetzungen gemäss, verhalten sich nun die Lichtmengen, welche bei zwei verschiedenen Lagen des Ringes vom Saturn ausgesandt werden, wie die Flächen der entsprechenden Projectionen.

Bezeichnet folglich J' die beobachtete Lichtmenge bei einer beliebigen Lage des Ringes, und J diejenige bei verschwindender Projection, so hat man:

$$J : J' = 1 : 1 + p$$

oder

$$J = \frac{J'}{1+p}$$

so dass man jede beobachtete Lichtmenge auf die von der Kugel allein reflectirte zurückführen kann, wenn man den beobachteten Werth durch

$$1 + (r^2 - r'^2)\sin l - \frac{2}{\pi}(\varphi' - \varphi + \sin\varphi\cos\varphi - \sin\varphi'\cos\varphi')$$

dividirt.

Hierbei ist zu bemerken, dass, wenn sich aus der Gleichung

$$\cos\varphi = r \sin l$$

für $\cos\varphi$ ein grösserer Werth als 1 ergeben sollte, die Formel vollkommen ihre Gültigkeit bewahrt, indem dann einfach nur $\varphi = 0$ zu setzen ist, wie dies die Betrachtung der Figur unmittelbar zur Anschauung bringt.

Den Winkel l findet man, sowohl im Berliner Jahrbuch, am Schlusse der Planeten-Ephemeriden, als auch im Nautical Almanac angegeben.

Für die Grössen r und r' habe ich die von Seidel in seiner zweiten Abhandlung p. 90 angenommenen Werthe, auf Messungen von Bessel, Encke, Struve u. A. beruhend, zu Grunde gelegt, und zwar

$$\log r = 0.38056$$
$$\log r' = 0.19941$$

48.

Ich war so glücklich, den Saturn gerade zu einer Zeit photometrisch beobachten zu können, welche zwischen den beiden Epochen liegt, wo sich die Sonne in der Ringebene befindet, und dann, einige Monate später, die Erde in diese Ebene tritt. Diese Eintritte ereigneten sich im Jahre 1862, und zwar für die Sonne am 18. Mai $2^h\,48^m$, für die Erde am 12. August $20^h\,11^m$. Innerhalb dieses Zeitraumes habe ich das Helligkeitsverhältniss von Jupiter und Saturn an sieben verschiedenen Abenden durch zahlreiche Beobachtungen bestimmt, welche Bestimmungen wesentlich noch dadurch begünstigt waren, dass die beiden Planeten nur um wenige Grade von einander abstanden und daher stets in nahezu gleicher Höhe beobachtet werden konnten.

In der folgenden Tabelle, in welcher ich eine Zusammenstellung meiner Beobachtungen aus dem Jahre 1862 gebe, sind, mit Hülfe der oben für das Helligkeitsverhältniss von Jupiter in mittlerer Opposition zur Capella gefundenen Zahl, sämmtliche Werthe auf das Helligkeitsverhältniss von Saturn mittl. Opp. zu diesem Sterne reducirt.

Gleichzeitig ist unter l der Elevationswinkel der Erde unter l' derjenige der Sonne über der Ringebene, vom Saturn aus gesehen, angegeben, d. h. der Emanations- und Incidenzwinkel der Sonnenstrahlen. Das positive Zeichen bedeutet eine nördliche, das negative eine südliche Elevation.

Für die sämmtlichen Beobachtungen habe ich, der Kleinheit des Winkels l' wegen, die Reduction auf die Kugel gleich Null gesetzt.

Tabelle XI.

Photometrische Beobachtungen des Saturn beim Verschwinden seines Ringes.

No.	Datum.	l	l'	Log $\frac{\text{Saturn m. O.}}{\text{Capella}}$	Abweichung vom Mittel.	Zahl d. Beobacht.
1	1862. Mai 7	$-2^0\ 49'$	$-0^0\ 11'$	9.6391	+0.0100	(16)
2	Mai 22	2 48	+0 4	9.6392	+0.0101	(36)
3	Mai 23	2 47	0 5	9.6496	+0.0205	(4)
4	Mai 26	2 46	0 7	9.6670	+0.0379	(20)
5	Mai 31	2 44	0 12	9.6216	−0.0075	(24)
6	Juni 4	2 38	0 15	9.6054	−0.0237	(20)
7	Juni 28	−2 2	+0 38	9.5815	−0.0476	(16)
			Mittel =	9.6291	± 0.0071	

Vergleicht man die eigenthümliche Vertheilung der Zeichen in der vorletzten Spalte mit den Werthen unter l, so scheint sich hier ein unverkennbarer Zusammenhang zwischen der beobachteten Helligkeit des Saturn und jenem Winkel zu ergeben, trotzdem der Elevationswinkel der Sonnestrahlen über der Ringebene am 22. Mai nur vier Minuten betrug. Wollte man die Lambert'schen Principien auf den Ring anwenden, so könnte seine scheinbare Helligkeit (*claritas visa*) nur $\frac{1}{1000}$, und am 28. Juni, wo jener Winkel in den

angeführten Beobachtungen am grössten ist, nur $\frac{1}{110}$ von der scheinbaren Helligkeit der Saturnsscheibe betragen. Dies sind, wie man sieht, Grössen, welche weit unterhalb der Grenze der unvermeidlichen Beobachtungsfehler liegen, und daher hier vollständig vernachlässigt werden können.

Ganz anders gestaltet sich jedoch die Sache bei der Annahme von bergähnlichen Erhebungen auf der Oberfläche des Ringes; in diesem Falle sähen wir unter den angegebenen Verhältnissen nur die erleuchteten Gipfel jener Berge, welche durch perspectivische Verkürzung des Ringes so nah an einander gerückt sind, dass die hierdurch von dem ganzen Ringe ausgesandte Lichtmenge sich proportional seiner Projection ändern würde. Will man sich zu dieser Annahme nicht verstehen, so wäre man genöthigt, dem Ringe eine selbstständige Lichtentwickelung zuzuschreiben.

Die Anzahl der oben mitgetheilten Beobachtungen ist noch eine zu geringe, um über diese interessanten Fragen endgültig zu entscheiden. Nichtsdestoweniger hielt ich mich für verpflichtet, auf die angedeuteten Umstände aufmerksam zu machen, um hierdurch womöglich bei dem nächsten Wiederverschwinden des Saturnsringes nicht der einzige Beobachter dieses Phänomens zu sein.

49.

Die nächstfolgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung meiner Saturnsbeobachtungen aus dem Jahre 1863 nebst einer Beobachtung aus diesem Jahre. Unter der Bezeichnung $\text{Log}\,\frac{\text{Saturn m. O.}}{\text{Capella}}$ sind die auf mittlere Opposition des Saturn reducirten Werthe angegeben, wie sich dieselben unmittelbar aus den angestellten Beobachtungen ergaben. In der darauf folgenden Spalte stehen die Logarithmen der nach meiner Formel berechneten Reductionswerthe, welche dem oben Mitgetheilten zufolge, nur von der beobachteten Helligkeit des Saturn subtrahirt zu werden brauchen, um die von der Saturnskugel allein ausgesandte Lichtmenge zu finden. Die Logarithmen dieser so reducirten Werthe sind in der darauf folgenden Spalte anfgeführt.

Tabelle XII.

Photometrische Beobachtungen des **Saturn mit dem Ringe** und deren Reduction auf die Epoche des verschwundenen Ringes.

No.	Datum.	l	l'	Log $\frac{\text{Saturn m. O.}}{\text{Capella}}$	Log. Reduction auf Saturn ohne Ring.	Log $\frac{\text{Saturn ohne Ring}}{\text{Capella}}$	Abweichung v. Mittel.	Zahl der Beobacht.
1	1863. Apr. 10	+3° 49′	+4° 51′	9.7316	0.0599	9.6717	+0.0118	(12)
2	Mai 4	3 13	5 20	9.7112	0.0511	9.6601	+0.0002	(4)
3	Mai 6	3 12	5 23	9.7190	0.0508	9.6682	+0.0083	(16)
4	Mai 8	3 10	5 27	9.7023	0.0504	9.6519	—0.0080	(16)
5	Mai 9	3 10	5 29	9.7124	0.0504	9.6620	+0.0021	(4)
6	Mai 10	3 10	5 31	9.7024	0.0504	9.6520	—0.0079	(8)
7	1865. Jan. 17	16 9	13 59	9.8542	0.2003	9.6539	—0.0060	(20)
					Mittel =	**9.6599**	± 0.0032	

Wie man sieht, ist der wahrscheinliche Fehler des Mittels der reducirten Werthe ein ausserordentlich kleiner und beträgt, auf das beobachtete Helligkeitsverhältniss bezogen, nur 0.8 Procent. Es ist dies sowohl ein Beweis für die Güte der Beobachtungen als auch für die Brauchbarkeit der von mir gegebenen Reductionsformel.

Vergleicht man das durch unsere Theorie erhaltene Helligkeitsverhältniss mit dem oben in Tab. XI aus den Beobachtungen abgeleiteten, so kann die hier auftretende, verhältnissmässig nur kleine Differenz, doch nicht durch Beobachtungsfehler erklärt werden. Vielmehr bin ich geneigt, hier eine Bestätigung der bereits von Seidel [1]) ausgesprochenen Vermuthung zu sehen, nach welcher sich das vom beleuchteten Ringe auf die Kugel reflectirte Licht bei den Beobachtungen bemerklich machen muss. Dieses reflectirte Licht ist

1) Untersuchungen über die Lichtstärke der Planeten etc. p. 98. (1859.)

bei den Reductionen nicht berücksichtigt worden, obgleich es, bei grösseren Elevationswinkeln der Sonne über der Ringebene, zur Vergrösserung der von der Saturnskugel ausgesandten Lichtmenge beitragen muss.

Wie man sieht, zeigt sich in der That eine solche Vergrösserung der Lichtmenge, die, mit Rücksicht auf den oben für den Saturn ohne Ring erhaltenen Werth, etwa 7.4 Procent der von der Kugel allein ausgesandten Lichtmenge betragen würde. Endgültig können hierüber jedoch nur zahlreichere Beobachtungen als die bis jetzt vorliegenden entscheiden. Nimmt man vorläufig das Mittel aus dem empirisch und theoretisch gefundenen Werthe, so ergiebt sich für das Helligkeitsverhältniss des Saturn in mittlerer Opposition ohne Ring zur Capella:

$$\log \frac{\text{Saturn m. O. ohne Ring}}{\text{Capella}} = 9.6345$$

50.

Es muss jedenfalls von grösstem Interesse erscheinen, die von Seidel angestellten Saturnsbeobachtungen mit Hülfe der von mir gegebenen Formel zu reduciren, um einerseits einen Massstab für die Brauchbarkeit jener Formel andrerseits für die Richtigkeit der bei unsern Photometern zu Grunde gelegten Principien zu erhalten. Das erfreuliche Resultat, welches oben die Vergleichung unserer Jupitersbeobachtungen geliefert hat, liess mich hoffen, ein ähnliches auch beim Saturn zu finden, vorausgesetzt dass die bei der Berechnung der Ringhelligkeit von mir gemachten Annahmen mit hinreichender Genauigkeit den Verhältnissen in der Natur entsprechen. In dieser Beziehung erschien mir eine nähere Untersuchung der Seidel'schen Beobachtungen um so wichtiger, als sich unter ihnen auch solche befinden, welche gerade zu einer Zeit angestellt wurden, in welcher der Elevationswinkel l ein Maximum erreicht hatte und sich demgemäss der Ring des Saturn in seiner grössten Flächenausdehnung zeigen musste.

Seidel hat die sämmtlichen Vergleichungen des Saturn mit Capella in seiner zweiten Abhandlung p. 22 zusammengestellt. Es befindet sich unter ihnen nur eine einzige Vergleichung mit Wega

(No. 210), welche jedoch bei den folgenden Reductionen ausgeschlossen wurde, da bei dieser Beobachtung die Bemerkung steht: »unterbrochen durch Nebelbildung«.

Unter der Bezeichnung »Log $\frac{\text{Saturn}}{\text{Capella}}$« sind die Werthe aufgeführt, welche sich in der SEIDEL'schen Tabelle in Spalte 6 finden. Es bedeuten diese Zahlen die Logarithmen des bezüglich der Zenithdistanz reducirten Helligkeitsverhältnisses, wie es an den betreffenden Tagen aus den Beobachtungen mit dem STEINHEIL'schen Prismenphotometer abgeleitet wurde. Diese Werthe habe ich nun sämmtlich auf mittlere Opposition reducirt und alsdann hieraus mit Hülfe meiner Formel, wie in der vorhergehenden Tabelle, die Lichtstärke des Saturns ohne Ring berechnet.

Tabelle XIII.

Reduction der photometrischen Saturn-Beobachtungen SEIDEL's nach meiner Theorie.

No.	Datum.	l	Log $\frac{\text{Saturn}}{\text{Capella}}$	Log $\frac{\text{Saturn m. O.}}{\text{Capella}}$	Log. Reduction auf Saturn ohne Ring.	Log $\frac{\text{Saturn ohne Ring}}{\text{Capella}}$	Abweichung v. Mittel.
1	1852. März 8	—17° 3′	9.7534	9.8528	0.2330	9.6198	—0.0120
2	März 18	17 26	9.7640	9.8706	0.2375	9.6331	+0.0053
3	März 20	17 30	9.6959	9.8055	0.2385	9.5670	—0.0608
4	1857. Feb. 15	25 51	0.0554	9.9870	0.3475	9.6399	+0.0121
5	Feb. 19	25 54	0.0521	9.9893	0.3481	9.6412	+0.0134
6	Apr. 20	25 47	9.9544	9.9908	0.3467	9.6441	+0.0163
7	Mai 14	25 25	9.9155	9.9771	0.3412	9.6361	+0.0083
8	1858. März 20	23 19	9.9852	9.9520	0.3107	9.6413	+0.0135
					Mittel =	9.6278	

Dieser Werth stimmt also, wie man sieht, fast genau mit der oben aus meinen Beobachtungen abgeleiteten Zahl überein, und

beweist sowohl die Richtigkeit meiner Theorie als auch abermals, dass die von SEIDEL und mir angewandten Photometer, trotz der gänzlichen Verschiedenheit ihrer Construction, doch auf richtigen Principien basirt sein müssen.

Was die Anwendbarkeit der SEIDEL'schen Theorie der Lichtstärke des Saturn betrifft, so sei hier nur bemerkt, dass sich nach jener Theorie für das oben gefundene Helligkeitsverhältniss eine Zahl ergiebt, welche den durch directe Beobachtungen bestimmten Werth um nicht weniger als 34 Procent übertrifft[1]).

Da bei der von mir benutzten Reductionsformel alle Lichtverluste durch Schattenwurf des Ringes auf die Kugel, und umgekehrt, vernachlässigt wurden, und dessenungeachtet so befriedigende Resultate erzielt worden sind, so kann man diesen Umstand vielleicht durch eine theilweise Compensation jener Verluste durch das vom Ringe auf die Kugel reflectirte Licht erklären.

Vergleicht man das Maximum und Minimum der Lichtmengen, welche Saturn bei constanter Entfernung, lediglich durch verschiedene Lagen seines Ringes, aussendet, so ergiebt sich für den Logarithmus dieses Verhältnisses der Werth 0.3617, so dass also das Maximum 2.30 Mal grösser als das Minimum der Helligkeit Saturns ist.

Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses der mittleren Sonne zu Saturn ohne Ring in mittlerer Opposition.

$$\log \frac{\text{mittlere Sonne}}{\text{Capella}} = 10.7463 \pm 0.0200$$

$$\log \frac{\text{Saturn ohne Ring}}{\text{Capella}} = 9.6291 \pm 0.0071$$

$$\log \frac{\text{mittlere Sonne}}{\text{Saturn ohne Ring}} = 11.1172 \pm 0.0214$$

$$\frac{\text{mittlere Sonne}}{\text{Saturn ohne Ring}} = 130\,980\,000\,000$$

mit einem wahrscheinlichen Fehler von 5.0 Procent dieses Werthes.

Wie man sieht, ist bei dieser Berechnung der oben in Tab. XI aus den Beobachtungen abgeleitete Werth für Saturn ohne Ring

1) SEIDEL findet a. a. O. nach seiner Theorie für den Logarithmus des Helligkeitsverhältnisses von Saturn m. O. ohne Ring zur Capella den Werth: 9.7626.

zu Grunde gelegt. Mit Rücksicht auf die dort gemachten Bemerkungen dürfte dieser Werth eher etwas zu gross als zu klein sein.

51.

Um auch Uranus und Neptun in das Bereich photometrischer Bestimmungen zu ziehen, war es erforderlich, dem Photometer eine solche Gestalt zu geben, dass es sich bequem mit jedem parallactisch montirten Fernrohr, auch dem grössten, auf eine einfache Weise vereinigen liess.

Diese Einrichtung ist auf Taf. V, Fig. 2 dargestellt. Wie die Lichtquelle mit dem Mittelstücke des Photometers verbunden ist, lässt sich unmittelbar aus der Figur entnehmen. G und G' sind zwei cylindrische Glasgefässe, welche durch eine Röhre, die innerhalb der Messinghülse HJ liegt, mit einander communiciren. Bei G wird das Petroleum hineingegossen, so dass hierdurch der im Gefässe G' befindliche Docht der Flamme gleichzeitig mit Flüssigkeit gespeist wird. Die Röhre HJ, welche die Petroleumlampe trägt, ist vermittelst der beiden Messingstäbe E und E' aufgehängt und leicht um die Axe AB drehbar. Die Cylinderöffnung c, durch welche das Licht der Flamme in den Apparat gelangt, ist so gestellt, dass die Axe AB möglichst genau durch das Centrum der Oeffnung c geht. Bei e ist ein ziemlich langes und tiefgeschnittenes Schraubengewinde angebracht, mit dem das Photometer in der Ocularröhre eines Fernrohrs nur so weit eingeschraubt wird, dass der ganze Apparat noch eine freie und leichte Beweglichkeit um die Axe CD behält.

Durch diese zwiefache Beweglichkeit um die Axen AB und CD ist nun offenbar stets eine verticale Stellung der Petroleumlampe bedingt, mag das Photometer an einem parallactisch montirten oder an einem andern Fernrohr befestigt sein. Selbstverständlich muss durch entsprechend angebrachte Gewichte für ein gehöriges Balancement gesorgt sein.

Das Bild des künstlichen Sterns liegt bei der angegebenen Einrichtung bei c, also vor der Glasplatte ee', was durch Anwendung der Convexlinse a erreicht wird, die sich durch eine Schraube b gegen die Glasplatte verschieben lässt. Man ist hierdurch im Stande, das Bild des künstlichen Sterns in gleiche Entfernung vom Ocular

mit den im Gesichtsfelde befindlichen Bildern der natürlichen Sterne zu bringen.

Da die durch das Ocular *d* beobachteten Objecte vergrössert werden, so muss durch mehrfach über einander gelegte Concavlinsen von starker Krümmung für eine möglichst starke Verkleinerung der Oeffnung des Diaphragmas gesorgt werden, so dass die Bilder der künstlichen Sterne bei *c* ein vollkommen gleiches Ansehen mit den natürlichen Sternen bewahren. Durch das angegebene Mittel ist mir dies in der befriedigendsten Weise gelungen. Als Ocular wandte ich hierbei eine einfache Linse von c. 1.7 Zoll Brennweite an.

Das so eingerichtete Photometer wurde nun am sechsfüssigen Refractor der hiesigen Sternwarte angebracht, und mit diesem Instrumente zunächst das Helligkeitsverhältniss von Uranus und Neptun bestimmt. Taf. VI giebt eine Abbildung des Refractors mit dem daran befestigten Photometer. Ich konnte noch bequem Sterne 9ter bis 10ter Grösse photometrisch bestimmen, so dass von jetzt an der Ausdehnung photometrischer Beobachtungen auch auf die schwächsten Objecte, welche wir mit unseren optischen Instrumenten noch wahrnehmen können, nichts mehr hindernd im Wege steht[1]).

Ich lasse hier eine Zusammenstellung der reducirten Beobachtungsresultate folgen und verweise bezüglich der Originalbeobachtungen auf die weiter unten gegebene Copie derselben. Man wird dort sehen, dass die einzelnen Ablesungswerthe eben so schön unter sich übereinstimmen, wie bei Benutzung der für hellere Sterne angewandten, bedeutend lichtschwächeren, Photometer.

Am ersten Beobachtungsabende (Nov. 17) wurden Uranus, Neptun und τ Tauri, ein Stern 4ter Grösse, hinter einander mit dem sechsfüssigen Refractor beobachtet und alsdann, mit einem lichtschwächeren Instrumente τ Tauri mit Capella verglichen. Am zwei-

1) Bereits in meiner »Photometrie des Himmels« habe ich am Schlusse, bei den Erläuterungen zu den Figurentafeln (p. 101), angegeben, wie man durch Anwendung einer Convex- statt Concavlinse die Bilder der künstlichen Sterne vor die Glasplatte verlegen und hierdurch das Photometer auf die schwächsten Sterne anwenden könne. Es geschah dies damals nur in Form eines Vorschlages, um den Vorwürfen zu begegnen, welche meinem Photometer bezüglich der Anwendbarkeit auf schwache Sterne im Vergleich zum SCHWERD'schen Photometer gemacht wurden. Die Erfahrung hat jetzt meine Vermuthungen auf's Vollständigste bestätigt.

ten Abende (Nov. 23) wurde ganz in derselben Weise verfahren, nur mit dem Unterschiede, dass an Stelle von τ Tauri der Stern 4ter Grösse π Tauri benutzt wurde.

Am dritten und vierten Abende verglich ich, wie gewöhnlich, zuerst Uranus mit Neptun durch den Refractor und beobachtete dann, mit Uebergehung des früheren Zwischensterns, Uranus und Capella mit dem lichtschwächeren Instrumente. Es haben deswegen die Werthe für das Helligkeitsverhältniss von Uranus zu Neptun eine bedeutend grössere Sicherheit als diejenigen des Helligkeitsverhältnisses dieser Planeten zur Capella.

Tabelle XIV.

Photometrische Bestimmungen
von
Uranus und Neptun.

No.	Datum.	$\text{Log}\frac{\text{Uranus m. O.}}{\text{Neptun m. O.}}$	$\text{Log}\frac{\text{Uranus m. O.}}{\text{Capella}}$	Abweichung vom Mittel.	$\text{Log}\frac{\text{Neptun m. O.}}{\text{Capella}}$	Abweichung vom Mittel.
	1864.					
1	Nov. 17. $7^h 47^m$	0.9488	7.7901	−0.0275	6.8413	−0.0040
2	Nov. 23. $8^h 2^m$	9.9616	7.7734	−0.0442	6.8118	−0.0335
3	Nov. 30. $8^h 30^m$	0.9793	7.8330	+0.0152	6.8537	+0.0084
4	Dec. 12. $7^h 5^m$	0.9996	7.8739	+0.0563	6.8743	+0.0290
		Mittel: =	7.8176	± 0.0152	6.8453	± 0.0091

Vergleicht man in dieser Tabelle die Werthe für $\text{Log}\frac{\text{Uranus m. O.}}{\text{Neptun m. O.}}$, welche, wie bemerkt, eine beteutend grössere Sicherheit beanspruchen als die indirect gefundenen Werthe für die Helligkeitsverhältnisse von Uranus und Neptun zur Capella, so zeigt sich deutlich ein continuirliches Wachsen dieser Werthe, welches sogar annähernd der

Zeit proportional ist. Es sind nämlich die Zwischenzeiten zwischen je zwei Beobachtungsabenden der Reihe nach:

6 Tage, 7 Tage, 12 Tage

und die entsprechenden Differenzen der besagten Werthe:

+ 0.0128 + 0.0177 + 0.0203

Da nun Uranus sich bei diesen Beobachtungen fortwährend seiner Opposition näherte, welche am 18. December stattfand, so liegt mit Berücksichtigung des beim Mars gefundenen, schnellen Anwachsens der Helligkeit in der Nähe der Opposition die Vermuthung nahe, dass selbst beim Uranus noch ein Einfluss der Phase auf die Helligkeit sich geltend mache.

Selbstverständlich kann diese Frage erst durch eine grössere Anzahl von Beobachtungen, als die bis jetzt vorliegenden, entschieden werden. Ich fühle mich indessen um so mehr veranlasst, auf diesen eben so merkwürdigen als wichtigen Umstand aufmerksam zu machen, weil sich schon *a priori* behaupten lässt, dass selbst noch beim Neptun jener Einfluss unter der Voraussetzung nachweisbar sein muss, dass die Intensitätscurve jener beiden äussersten Planeten in der Nähe der Opposition von derselben Gestalt wie die Curve des Mars ist.

Um zunächst eine Uebersicht der Winkel zu erhalten, um welche sich einer der oberen Planeten im mittleren Maximum von der Opposition entfernen kann, gebe ich hier eine Zusammenstellung jener Winkel. Es beträgt derselbe:

für	Mars	33°	16.′7
»	Jupiter	10	52.8
»	Saturn	5	59.0
»	Uranus	2	59.0
»	Neptun	1	54.5

Vergleicht man nun in Tabelle VIII die Oppositionshelligkeit des Mars am 30. November mit seiner Helligkeit am vorhergehenden Tage, so ist die letztere schon um 10.7 Procent geringer, obgleich der Abstand des Mars von der Opposition an jenem Tage nur 4° betrug. Hieraus würde folgen, dass Mars bei einem Abstande von

nur einem Grade von seiner Opposition schon um 2.7 Procent lichtschwächer als in der Opposition selbst ist. Dies ist aber eine Grösse, welche sich noch mit grosser Leichtigkeit photometrisch nachweisen lässt, zumal es sich hier lediglich nur um Differentialbestimmungen handelt, bei denen sogar durch passende Auswahl der Vergleichssterne die Reduction wegen der Zenithdistanz ohne Schwierigkeit umgangen werden kann.

Wie man sieht, beträgt beim Neptun jener Abstand von der Opposition im Maximum nahe 2 Grad; es würde dies eine Helligkeitsdifferenz von c. 5 Procent bewirken, eine Grösse, die sich selbst bei ganz oberflächlichen Beobachtungen mit meinem Photometer sehr deutlich erkennen lässt.

Mit Berücksichtigung der oben für das Helligkeitsverhältniss von Uranus und Neptun zur Capella erhaltenen Werthe, ergeben sich nun folgende Zahlen für das Helligkeitsverhältniss der Sonne zu jenen Planeten in mittlerer Opposition.

Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses der mittleren **Sonne** zu **Uranus** und **Neptun** in mittlerer Opposition.

$$\log \frac{\text{mittl. Sonne}}{\text{Capella}} = 10.7463 \pm 0.0200$$

$$\log \frac{\text{Uranus m. O.}}{\text{Capella}} = 7.8176 \pm 0.0152$$

$$\log \frac{\text{Neptun m. O.}}{\text{Capella}} = 6.8453 \pm 0.0091$$

$$\log \frac{\text{mittl. Sonne}}{\text{Uranus m. O.}} = 12.9287 \pm 0.0253$$

$$\log \frac{\text{mittl. Sonne}}{\text{Neptun m. O.}} = 13.9010 \pm 0.0230$$

$$\frac{\text{mittl. Sonne}}{\text{Uranus m. O.}} = 8\,486\,000\,000\,000$$

mit einem wahrscheinlichen Fehler von 6.0 Procent dieses Werthes.

$$\frac{\text{mittl. Sonne}}{\text{Neptun m. O.}} = 79\,620\,000\,000\,000$$

mit einem wahrscheinlichen Fehler von 5.5 Procent dieses Werthes.

52.

Nach dem bisher Mitgetheilten sind also jetzt die Helligkeitsverhältnisse aller oberen Planeten, in mittlerer Opposition, zur Sonne bekannt, wobei der wahrscheinliche Fehler der ermittelten Verhältnisse im Maximum nicht mehr als 6 Procent der gefundenen Grössen beträgt.

Es unterliegt jedoch keinem Zweifel, dass diese Genauigkeit noch um ein Bedeutendes erhöht werden kann, da der grösste Theil jener wahrscheinlichen Abweichung von der Unsicherheit in der Bestimmung des Absorptionscoëfficienten der Blendgläser herrührt, welche bei den Sonnenbeobachtungen nothwendig angewandt werden mussten (vgl. p. 87).

Da die unteren Planeten, Venus und Mercur, sich nie in der Opposition beobachten lassen, und wir gesehen haben, dass die Beziehung zwischen der Phasengrösse und der reflectirten Lichtmenge gerade in der Nähe der Opposition beinahe für jeden beleuchteten Himmelskörper ein besonderes ist, so werden wir vorläufig bei den unteren Planeten auf eine theoretische Reduction der Phase auf die Opposition verzichten müssen. Sollte sich auch innerhalb gewisser Grenzen eine befriedigende Uebereinstimmung mit der LAMBERT'schen Formel ergeben, so darf man dennoch, mit Rücksicht auf das früher (p. 26 und p. 69) Gesagte, hieraus keineswegs die Anwendbarkeit dieser Formel weder auf die Phasen in der Nähe der oberen noch der unteren Conjunction folgern.

In der folgenden Tabelle gebe ich eine Zusammenstellung meiner Venus-Beobachtungen, bei welchen Venus und Capella direct, mit Anwendung von Combination II (vgl. p. 120), mit einander photometrisch verglichen wurden. Unter der Bezeichnung »Log $\frac{\text{Venus}}{\text{Capella}}$«, sind, wie früher beim Mars, die Logarithmen des beobachteten Helligkeitsverhältnisses beider Sterne nach Anbringung der Zenithreduction angegeben. Die Logarithmen der reducirten Helligkeit wurden aus diesen Werthen durch Addition des doppelten Productes aus log. Rad. vect. d. Venus und log. Entfernung: Erde — Venus erhalten, so dass also hierbei die Venus, sowohl von der Sonne als auch von der Erde, in der Entfernung 1 vorausgesetzt wird. Die alsdann

noch übrig bleibenden Aenderungen der Helligkeit werden im Allgemeinen von der Phasengrösse abhängen, wie dies auch, mit Berücksichtigung der Werthe von v, deutlich aus der gegebenen Zusammenstellung hervorgeht. Da sich bei kleinen Werthen von v, sowohl nach meiner im zweiten Theile entwickelten Theorie als auch nach dem empirisch beim zunehmenden Monde und beim Mars Gefundenen, ein Einfluss des zweiten oder LAMBERT'schen Gliedes meiner Formel bemerklich macht, so habe ich versucht lediglich mit Hülfe dieses zweiten Gliedes sämmtliche Beobachtungen auf die Opposition zu reduciren. Die Logarithmen der Reductionswerthe, die einfach zu den vorhergehenden Zahlen addirt zu werden brauchen, sind unter der entsprechenden Bezeichnung aufgeführt; die vorletzte Spalte enthält die so reducirten Werthe.

Tabelle XV.

Photometrische Bestimmungen

von

Venus und Capella.

No.	Datum.	v	Log. $\frac{\text{Venus}}{\text{Capella}}$	Zahl der Beob.	Log. der reducirten Helligkeit.	Lambert's Red. auf d. Opposition.	Log. der Oppositionshelligkeit.	Abweichung vom Mittel.
	1865.							
1	Jan. 17. $6^h\ 0^m$	111°7	1.6157	(16)	1.3219	0.2797	1.6016	−0.0054
2	Feb. 5. $7^h\,52^m$	102.9	1.6667	(8)	1.2433	0.3586	1.6019	−0.0051
3	Feb. 6. $7^h\ 0^m$	102.3	1.6698	(14)	1.2388	0.3645	1.6033	−0.0037
4	Feb. 7. $6^h\,12^m$	101.8	1.6417	(8)	1.2031	0.3693	1.5724	−0.0346
5	Feb. 16. $6^h\,19^m$	97.0	1.6560	(12)	1.1446	0.4184	1.5630	−0.0440
6	Feb. 23. $6^h\,47^m$	93.0	1.7243	(12)	1.1517	0.4623	1.6140	+0.0070
7	März 1. $7^h\,57^m$	89.3	1.7775	(12)	1.1481	0.5055	1.6536	+0.0466
8	März 4. $8^h\ 7^m$	87.6	1.7790	(12)	1.1198	0.5264	1.6462	+0.0392
							Mittel = 1.6070	±0.0075

Wie man aus dieser Zusammenstellung ersieht, giebt die Reduction mit Hülfe der LAMBERT'schen Formel eine sehr befriedigende Constanz der auf die Opposition reducirten Werthe, obschon sich nach der Vertheilung der Fehler, namentlich bei den beiden letzten Beobachtungen, auf eine langsamere Abnahme der empirischen im Vergleich zu der theoretischen Helligkeit schliessen liesse.

Dass die Venus in der Nähe ihrer unteren Conjunction eine bedeutend grössere Lichtstärke besitzt, als man nach der LAMBERT'schen Formel zu erwarten berechtigt ist, hat BREMIKER bei Gelegenheit der totalen Sonnenfinsterniss im Jahre 1860 mit freiem Auge beobachtet [1]. Es würde also die eben erwähnte geringere Abnahme der Helligkeit in der Nähe der Quadratur, wie sie sich aus der vorstehenden Tabelle ergiebt, vollkommen mit der Beobachtung BREMIKER's im Einklang stehen.

Gleichzeitig freut es mich, hier abermals eine Uebereinstimmung der von SEIDEL erhaltenen Resultate mit den meinigen bestätigt zu finden. Denn auch SEIDEL war im Stande, seine Venusbeobachtungen vom Jahre 1852 in befriedigender Weise mit Hülfe der LAMBERT'schen Formel zu reduciren, obschon, wegen bedeutender Unvollkommenheiten des STEINHEIL'schen Photometers, die Beobachtungen eine weit weniger gute Uebereinstimmung als die oben von mir mitgetheilten zeigen.

SEIDEL bemerkt hierüber an einer Stelle der betreffenden Abhandlung: »Das Licht der Venus konnten wir, seiner grossen Helligkeit wegen, in dem Instrumente direct und mit einiger Zuverlässigkeit nur mit dem des Sirius oder des Jupiter vergleichen.« [2]

Derartige Grenzen der Anwendbarkeit sind den von mir construirten Photometern in keiner Weise gesteckt, wie dies hoffentlich zur Genüge aus den bisher mitgetheilten Beobachtungen hervorgegangen sein wird, und gerade bezüglich der Venusbeobachtungen muss ich hervorheben, dass dieselben ein ganz besonderes Vertrauen verdienen. Denn bei der angewandten Linsencombination (Comb. II) erschien Venus von sehr passender Helligkeit im Gesichtsfelde des Photometers, so dass schon die Werthe der einzelnen Ablesungen

---

1) Monats-Berichte der Berliner Academie 1860, p. 706—709.

2) Untersuchungen über die Lichtstärke der Planeten etc. (1859) p. 16.

an demselben Abende eine mehr als gewöhnlich gute Uebereinstimmung zeigten.

Den Mercur habe ich bis jetzt nicht photometrisch bestimmen können, da derselbe wegen seiner geringen Entfernung von der Sonne stets nur in bedeutenden Zenithdistanzen beobachtet werden kann und hierzu die atmosphärischen Umstände sehr günstige sein müssen.

53.

Die durch das Vorhergehende festgestellten Helligkeitsverhältnisse der Sonne zum Monde und den Planeten setzen uns nun in den Stand, gemäss den im zweiten Theile gegebenen theoretischen Entwickelungen, den in allen Ausdrücken auftretenden Coëfficienten μ, d. h. die Albedo oder lichtreflectirende Kraft für jeden der beobachteten Himmelskörper numerisch zu berechnen. Indessen bedarf dieser Begriff insofern hier noch einer genaueren Bestimmung, als wir genöthigt waren, sowohl zur befriedigenden Darstellung der Mond- als auch der Marsbeobachtungen noch eine Constante β in unsere Formeln einzuführen, die uns den mittleren Elevationswinkel der Berge oder anderer Unebenheiten repräsentirte. Wir würden offenbar, jenachdem die Oberfläche des betreffenden Himmelskörpers als homogen oder mit Bergen bedeckt vorausgesetzt wird, einen anderen Werth für die Albedo erhalten.

Da nun gerade die lichtreflectirenden Kräfte sehr characteristisch für die physische Beschaffenheit der beleuchteten Himmelskörper sind, so will ich hier zunächst an einem ganz einfachen Beispiele die Beziehungen nachweisen, welche zwischen den unter beiden Voraussetzungen abgeleiteten Werthen stattfinden.

Man betrachte zu diesem Zwecke die Durchschnitte der beiden gleich grossen Flächen ab und $a'b'$ (Fig. 3, Taf. III), von denen die erstere eben, die letztere in der auf der Zeichnung angedeuteten Weise mit Erhebungen bedeckt ist. Beide Flächen seien von derselben Lichtquelle aus sehr grosser Entfernung senkrecht beleuchtet und aus gleicher Entfernung und Richtung betrachtet.

Während nun für die ebene Fläche ab Incidenz- und Emanationswinkel bei jedem Elemente gleich Null sind, sind diese Grössen

bei der unebenen Fläche gleich dem Winkel β, um welchen die Erhebungsseiten gegen die Horizontalebene geneigt sind. Man kann demnach, ohne in der Quantität des von der rauhen Fläche nach S ausgesandten Lichtes etwas zu ändern, diese rauhe durch eine homogene Fläche $a'c'$ ersetzen, welche mit der horizontalen den Winkel β einschliesst und sich zur Grösse der rauhen Fläche wie die Einheit zum Cosinus des Elevationswinkels verhält.

Setzen wir nun für jedes Element der betrachteten Flächen die LAMBERT'schen Principien als richtig voraus, so wird offenbar einem in der Richtung nach S befindlichen Auge die homogene und schief bestrahlte Fläche $a'c'$ im Verhältniss von $1 : \cos\beta$ schwächer beleuchtet erscheinen, als die homogene und senkrecht bestrahlte Fläche ab.

Stellen also z. B. die beiden Flächenstücke ab und $a'b'$ Theile einer Planetenoberfläche dar, so könnte durch die Anwesenheit von Erhebungen auf dem einen Theile lediglich durch diesen Umstand eine bedeutend geringere Lichtmenge nach S reflectirt werden als von dem andern. Würde man daher, unter der Voraussetzung dass beide Flächen homogen sind, die lichtreflectirenden Kräfte derselben berechnen, so müssten diese offenbar in dem besagten Verhältniss verschieden ausfallen, trotzdem die Albedo des Stoffes, aus dem diese Flächen bestehen, bei beiden dieselbe sein kann.

Aus dieser Betrachtung geht zur Genüge hervor, dass man die Berechnung der Albedo bei beleuchteten Himmelskörpern nicht ohne Weiteres nur aus dem Verhältniss der von ihnen reflectirten Lichtmengen zu derjenigen der Sonne bewerkstelligen kann. Man wird vielmehr erst durch photometrische Beobachtung der Phasen, soweit dies möglich ist, sich Aufschluss über die sonstige Beschaffenheit des betreffenden Planeten verschaffen müssen, und alsdann mit vorsichtiger Kritik der erlangten Daten, zur Bestimmung der mittleren Albedo des Stoffes, vorschreiten können. Dass hierbei auch der Einfluss einer die Planetenkugel umhüllenden Atmosphäre berücksichtigt werden muss, ist selbstverständlich. In welcher Weise sich dieser Einfluss auf die von den Phasen reflectirten Lichtmengen bemerklich macht und wie derselbe beim Mars in der eigenthümlichen Gestalt der Intensitätscurve ausgesprochen ist, wurde an der betreffenden Stelle dieser Schrift zur Genüge erörtert.

Ich will nun in der Folge denjenigen Werth des Coëfficienten μ, welcher sich unter der Voraussetzung einer homogenen, den LAMBERT'schen Principien entsprechenden Planetenoberfläche ergiebt, die »scheinbare Albedo«, dagegen denjenigen Werth, welcher sich mit Berücksichtigung von Erhebungen und der sonstigen physikalischen Beschaffenheit ergiebt, die »wahre Albedo« nennen.

Ist also in dem oben betrachteten Falle der beiden beleuchteten Flächen ab und $a'b'$ (Fig. 3, Taf. III) die wahre Albedo bei beiden gleich, so verhält sich die scheinbare Albedo von ab zu derjenigen von $a'b'$ wie die Einheit zum Cosinus des Elevationswinkels der Erhebungen auf $a'b'$.

Aus dieser Betrachtung ergiebt sich nun allgemein der folgende Satz:

Die wahre Albedo einer Oberfläche ist stets grösser als die scheinbare, und es kann die erstere als obere Grenze der letzteren betrachtet werden.

Ich bemerke hierbei, dass dieser, für die folgenden Untersuchungen sehr wichtige, Satz ganz unabhängig von den LAMBERT'schen Principien seine Gültigkeit bewahrt, so lange nur die Function, welche die Abhängigkeit der reflectirten Lichtmenge vom Incidenz- und Emanationswinkel ausdrückt innerhalb der Grenzen 0 und $\frac{\pi}{2}$ continuirlich bleibt und für den ersteren Werth der beiden Winkel ein Maximum erreicht, für den letzteren verschwindet.

Die Kenntniss der scheinbaren Albedo der beleuchteten Himmelskörper gewinnt also mit Berücksichtigung jenes Satzes insofern wiederum eine Bedeutung für die mittlere Albedo des Stoffes, aus welchem jene Körper bestehen, als die letztere unter allen Umständen nicht kleiner als die berechnete scheinbare Albedo sein kann. Ausserdem wird, ganz abgesehen hiervon, das Verhältniss zwischen den, auf gleiche Weise berechneten, lichtreflectirenden Kräften zweier Planeten, characteristisch für die Unterschiede ihrer Oberflächenbeschaffenheit sein.

54.

Bezeichnet Q die Lichtmenge, welche von der Sonne senkrecht auf die Flächeneinheit übergeht, so ist nach dem Ausdruck (2) p. 36

$$Q = J\pi \sin^2 \eta$$

Hierin bedeutet J die Leuchtkraft[1]) und η den scheinbaren Halbmesser der Sonne.

Die Lichtmenge q, welche von einer homogenen und von der Sonne beleuchteten Planetenkugel aus sehr grosser Entfernung auf die Flächeneinheit übergeht, wird nach Formel (10) p. 40 ausgedrückt durch

$$q = \frac{2\mu J r^2 \sin^2 \eta'}{3 D^2} (\sin v - v \cos v)$$

Es bedeutet η' den scheinbaren Halbmesser der Sonne vom Planeten aus gesehen, r den wahren Halbmesser des Planeten und D seine Entfernung von der Erde. Bezeichnet man also mit σ den scheinbaren Halbmesser des Planeten, von der Erde aus gesehen, so ist

$$\frac{r}{D} = \sin \sigma$$

so dass man mit Einführung dieses Werthes in die obige Gleichung für die Opposition $(v = \pi)$ erhält:

$$q = \tfrac{2}{3} \mu J \pi \sin^2 \sigma \sin^2 \eta'$$

und folglich für das Helligkeitsverhältniss der Sonne zu einem Planeten in der Opposition:

$$\frac{Q}{q} = \frac{3 \sin^2 \eta}{2\mu \sin^2 \sigma \sin^2 \eta'} = P$$

Hieraus folgt:

$$\mu = \frac{3 \sin^2 \eta}{2 P \sin^2 \sigma \sin^2 \eta'} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Dieser Ausdruck würde uns also nach den oben gegebenen Definitionen den Werth der scheinbaren Albedo des Planeten liefern.

Bezeichnet man die wahre Albedo desselben mit μ', so wird

$$\mu' = \frac{3 x \sin^2 \eta}{2 P \sin^2 \sigma \sin^2 \eta'} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

1) Vergl. p. 35 Anmerkung.

worin x eine Zahl bedeutet, die, nach dem oben Bemerkten, stets grösser als Eins sein muss.

Für einen Planeten ohne merkliche Atmosphäre, welcher mit Bergen bedeckt ist, deren mittlerer Elevationswinkel β ist, hat man nach dem Obigen für jene Zahl den Ausdruck:

(3) . . . . $$x = \frac{\pi}{\sin\beta + (\pi - \beta)\cos\beta}$$

Setzt man

$$\frac{3 \sin^2\eta}{2 \sin^2\sigma \sin^2\eta'} = p$$

so ist

(I) . . . . $\log \mu = \log p - \log P$

und:

(II) . . . . $\log \mu' = \log xp - \log P$

Da der Werth von $\log p$ aus astronomischen Bestimmungen des scheinbaren Durchmessers der Sonne und des Planeten resp. Mondes und deren Entfernungen berechnet werden kann, so lassen sich jetzt auch mit Hülfe der photometrisch bestimmten Werthe von $\log P$ die lichtreflectirenden Kräfte der oberen Planeten berechnen.

Ich werde mich hierbei lediglich auf die Bestimmung der scheinbaren Albedo μ beschränken, da zur Bestimmung der wahren Albedo μ' eine genauere Kenntniss der orographischen und sonstigen Verhältnisse der Planetenoberflächen erforderlich ist, auf welche wir bis jetzt verzichten müssen.

Nur der Mond macht hiervon, zum Theil wenigstens, eine Ausnahme. Denn wir wissen von ihm, dass er keine merklich lichtbrechende und reflectirende Atmosphäre besitzt, und dass der mittlere Elevationswinkel seiner Berge 52^0 beträgt. Sehen wir also von jeder etwaigen spiegelnden Reflexion seiner Oberfläche ab, so wäre man mittelst dieser Daten auch im Stande, die wahre Albedo μ' des Mondes zu bestimmen. Beim Mars würde eine solche Bestimmung, lediglich aus der Form seiner Intensitätscurve in der Nähe der Opposition, schon viel gewagter sein, da die Anwesenheit einer Atmosphäre auf die Lichtstärke der Marsphasen jedenfalls einen Einfluss ausübt, dessen nähere Beschaffenheit erst einer genaueren, theoretischen Untersuchung unterworfen werden muss.

55.

Es soll nun zunächst die Berechnung der scheinbaren Albedo μ des Mondes durchgeführt, und gleichzeitig auch, mehr des Beispiels als der Bedeutung halber, seine wahre Albedo μ' mit Berücksichtigung des früher gefundenen mittleren Elevationswinkels der Mondberge abgeleitet werden.

Hierbei mag es mir gestattet sein, die Art und Weise der Berechnung etwas ausführlicher mitzutheilen, indem dieselbe für die weiter unten folgenden Berechnungen der lichtreflectirenden Kräfte der Planeten als Beispiel dienen soll.

Zur Berechnung der Grösse p muss gegeben sein:

η der scheinbare Sonnenhalbmesser aus der Entfernung 1,

η' der scheinbare Sonnenhalbmesser, vom Monde aus gesehen, wenn sich der letztere in seinem mittleren Abstande von der Erde und in Opposition mit der Sonne befindet,

σ der scheinbare Mondhalbmesser in mittlerer Entfernung von der Erde aus gesehen.

Es ist nun

$$\eta = 16'\ 0''$$
$$\sigma = 15'\ 32''$$

Nimmt man die mittlere Sonnenparallaxe nach neueren Bestimmungen zu 8''.86 an, so ergiebt sich hieraus für den mittleren Abstand der Erde von der Sonne, oder die Entfernung 1 in Meilen, die Zahl

20 026 000

Da nun der mittlere Abstand des Mondes von der Erde, gleichfalls in Meilen, durch die Zahl

51 803

ausgedrückt wird, so erhält man für den Abstand des Mondes von der Sonne zur Zeit seiner mittleren Opposition die Zahl

20 077 803

Mit Hülfe dieses Werthes ergiebt sich nun

$$\eta' = 15'\ 57''$$

so dass:

$$\log p = 4.8684$$

Wählt man für $P = \frac{Q}{q}$ den früher p. 105 gefundenen Werth mit dem kleineren wahrscheinlichen Fehler, so ist:

$$\log P = 5.7910 \pm 0.0067$$

Nach Formel (I) hat man jetzt:

$$\log \mu = \log p - \log P = 9.0774$$

woraus sich für die scheinbare Albedo des Mondes ergiebt:

$$\mu = 0.1195$$

mit einem wahrscheinlichen Fehler von c. 1.6 Procent. Nimmt man also an, der Mond sei eine vollkommen homogene Kugel, für deren Oberfläche das Lambert'sche Grundgesetz anwendbar ist, so würde ein beliebiger Flächentheil nur 11.95 Procent von der senkrecht auf ihn fallenden Lichtmenge zerstreut zurückwerfen.

Da wir gesehen, dass jene Annahme nicht richtig ist, so kann auch der gefundene Werth für μ nicht die mittlere, lichtreflectirende Kraft des Stoffes ausdrücken, aus dem der Mond besteht.

Macht man aber die Annahme, es fände auf dem Monde eine gleichmässige Vertheilung von Bergen statt, deren Elemente ebenfalls dem Lambert'schen Gesetze genügen und deren mittlerer Elevationswinkel 52^0 beträgt, so würde sich nach Formel (3) für die Constante $\varkappa$ ergeben:

$$\log \varkappa = 0.1620$$

Da nun nach den obigen Entwickelungen

$$\log \mu' = \log \varkappa + \log \mu$$

so folgt:

$$\log \mu' = 9.2394$$

oder:

$$\mu' = 0.1736$$

Dies ist also, den früher gegebenen Definitionen gemäss, die wahre Albedo des Mondes.

56.

Ganz in derselben Weise lässt sich nun auch die scheinbare Albedo für die Planeten berechnen, wenn deren scheinbare Halbmesser für eine bestimmte Entfernung bekannt sind.

Für die Planeten Mars, Jupiter und Saturn hat bereits SEIDEL in seiner zweiten Abhandlung p. 50 diejenigen Werthe angeführt, welche bis jetzt die zuverlässigsten sind. Gleichzeitig ist hierbei auf die Abplattung der beiden grossen Planeten Rücksicht genommen, indem als Halbmesser derselben die Quadratwurzeln aus den Producten ihres Aequatorial- und Polarhalbmessers angenommen sind [1]).

Die Resultate der älteren Messungen habe ich gänzlich unberücksichtigt gelassen, so dass für Mars lediglich der von OUDEMANS aus BESSEL's Messungen abgeleitete und von WINNECKE bestätigte Werth benutzt ist [2]).

Für die Planeten Uranus und Neptun waren die Beobachtungen, welche ich über ihre Durchmesser vorfand, sehr spärlich, so dass ich es der freundschaftlichen Güte des Herrn Prof. FÖRSTER in Berlin und des Herrn Dr. R. ENGELMANN zu danken habe, wenn dieselben auf meine Bitte hin noch eine Reihe von Durchmesserbestimmungen der genannten Planeten ausführten, und mich dadurch in den Stand setzten, bei den folgenden Berechnungen der lichtreflectirenden Kräfte Werthe anzuwenden, deren wahrscheinliche Fehler in dem Endresultat wenigstens keine grössere Unsicherheit hervorbringen als die photometrische Bestimmung der Grösse P. Allerdings wird hierdurch der wahrscheinliche Fehler der Albedo um ungefähr 2.5 Procent grösser als er es bei einer so genauen Kenntniss der scheinbaren Durchmesser sein würde, dass man lediglich nur die photometrische Unsicherheit zu berücksichtigen brauchte.

Am Ende dieses Theiles der vorliegenden Schrift habe ich die auf der Leipziger Sternwarte angestellten Durchmesserbestimmungen etwas ausführlicher mitgetheilt.

Jedenfalls wäre es sehr wünschenswerth, wenn mit Rücksicht auf das photometrische Interesse, welches sich, wie man sieht,

---

1) Bezeichnen a und b die Halbaxen einer Ellipse, so ist die Fläche derselben $ab\pi$, also der Radius r eines Kreises von gleichem Flächeninhalt $r = \sqrt{ab}$.

2) Vgl. Astronomische Nachrichten No. 838 und No. 1135.

an eine genaue Kenntniss der Planetendurchmesser knüpft, auch noch andere Beobachter sich bereit finden liessen, derartige Messungen anzustellen. Es dürfte dies um so nothwendiger sein, als hierbei die Beschaffenheit des angewandten Fernrohrs und die Individualität des Beobachters eine sehr grosse Rolle zu spielen scheinen.

Die folgende Zusammenstellung giebt eine Uebersicht der zur Berechnung der Werthe von μ für die verschiedenen Planeten erforderlichen Daten.

Es bedeutet:

r den scheinbaren Halbmesser des Planeten in der Entfernung 1,

e die Entfernung des Planeten von der Erde zur Zeit seiner mittleren Opposition,

E die Entfernung des Planeten von der Sonne zur Zeit seiner mittleren Opposition,

σ den scheinbaren Halbmesser des Planeten von der Erde aus gesehen,

η' den scheinbaren Halbmesser der Sonne vom Planeten aus gesehen.

Mit Hülfe dieser Grössen lässt sich nun leicht der auf p. 160 gegebene Ausdruck für p berechnen, und da man aus dem Früheren die entsprechenden Werthe von P oder das Helligkeitsverhältniss der Sonne zum Planeten in mittlerer Opposition kennt, so ergiebt sich dann aus Formel (I) unmittelbar der Werth für μ.

Bestimmung der scheinbaren Albedo μ für die Planeten **Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun.**

Name des Planeten.	r	$\log \sin r$	$\log e$	$\log E$	$\log \sin \sigma$	$\log \sin \eta'$	$\log p$	$\log P$	$\log \mu$
Mars	4″66	5.3543	9.7191	0.1821	5.6352	7.4849	9.2715	9.8447	9.4268
Jupiter	94.55	6.6612	0.6235	0.7162	6.0377	6.9516	9.5331	9.7381	9.7950
Saturn	80.52	6.5914	0.9314	0.9792	5.6600	6.6886	10.8145	11.1172	9.6973
Uranus	37.79	6.2629	1.2596	1.2829	5.0033	6.3849	12.7353	12.9287	9.8066
Neptun	36.23	6.2446	1.4629	1.4778	4.7817	6.1900	13.5683	13.9010	9.6673

Mit Berücksichtigung der früher für die Werthe von P erhaltenen wahrscheinlichen Fehler und des oben über die Unsicherheit der Durchmesserbestimmungen bei Uranus und Neptun Gesagten, ergeben sich hieraus für die lichtreflectirenden Kräfte μ der Planeten die folgenden Werthe:

	μ
Mars	0.2672 ± 0.0155
Jupiter	0.6238 ± 0.0355
Saturn	0.4981 ± 0.0249
Uranus	0.6406 ± 0.0544
Neptun	0.4648 ± 0.0372

57.

Durch die Bestimmung der lichtreflectirenden Kräfte des Mondes und der Planeten ist nun das Ziel erreicht, welches ich mir in diesem, lediglich den Beobachtungen an beleuchteten Himmelskörpern gewidmeten, Theile meiner Untersuchungen vorgesetzt hatte. Ehe ich zum folgenden und letzten Theile übergehe, in welchem die erhaltenen Resultate mit den unter ähnlichen Bedingungen an irdischen Körpern erlangten Ergebnissen verglichen werden sollen, mag hier zunächst die Mittheilung von Originalbeobachtungen folgen, welche sich theils auf die Lichtstärke der Mondphasen, theils auf die mit dem sechsfüssigen Refractor ausgeführten Helligkeitsbestimmungen von Uranus und Neptun beziehen.

Da es mir, wie oben p. 100 bemerkt wurde, gelungen ist, durch die Reduction der von Sir J. HERSCHEL am Cap der guten Hoffnung zu Feldhausen angestellten, astrometrischen Beobachtungen eine der meinigen analoge Intensitätscurve abzuleiten, so scheint daraus hervorzugehen, dass der Werth jener Beobachtungen trotz der Unvollkommenheit des angewandten Instrumentes, dennoch nicht unterschätzt werden darf, um so weniger, als dies die einzigen photometrischen Beobachtungen sind, durch welche bis jetzt die Sterne der nördlichen Hemisphäre mit denen der südlichen in Verbindung gesetzt werden können. Ich glaube daher, dass bei der grossen Seltenheit der kostbaren Capreise HERSCHEL's, welche unter dem Titel:

»*Results of astronomical observations made during the years* 1834, 35, 36, 37, 38, *at the Cape of good Hope; by* Sir John F. W. Herschel.«
im Jahre 1847 zu London erschien, hier eine Mittheilung der astrometrischen Originalbeobachtungen nicht unwillkommen sein wird.

Man wird gleichzeitig hierbei eine deutliche Einsicht in die Methode und die grossen Schwierigkeiten erlangen, welche dieselbe dem Beobachter darbietet. Dass Sir J. Herschel dennoch ein so grosses Beobachtungsmaterial gesammelt hat, beweist nicht nur seine bewunderungswürdige Ausdauer und Umsicht, sondern giebt auch Zeugniss von der hohen Bedeutung, welche jener unermüdliche und weitschauende Forscher der Photometrie für die Fortentwickelung der Astronomie beilegte. Sir J. Herschel ist der Erste unter den Astronomen gewesen, welcher bereits vor 30 Jahren mit beredten Worten zur Construction geeigneter Astrophotometer aufforderte, so dass man die hier folgende, ausführliche Mittheilung seiner mühevollen Messungen gleichzeitig als einen schwachen Beweis meiner Pietät und Verehrung jenem scharfsinnigen Beobachter gegenüber betrachten möge.

Das Herschel'sche Astrometer besteht im Wesentlichen in einer kleinen Convexlinse von nur 0.12 engl. Zoll Oeffnung und 0.2253 Zoll Brennweite. Das durch diese Linse erzeugte Mondbildchen erscheint seiner Kleinheit wegen vollkommen sternartig, so dass dasselbe eine Vergleichung mit andern Sternen zulässt. Da nun die Helligkeit jenes Bildes umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Auges von demselben sich ändert, so hat man diese Abstände für zwei verschiedene Sterne nur zu bestimmen, um hieraus ihr Intensitätsverhältniss zu berechnen. Die folgenden Zahlenangaben bei den einzelnen Sternen drücken diese Entfernungen in engl. Zollen aus. Ich habe hier von einem beliebig gewählten Beobachtungsabend (1836 April 26) die Originalbeobachtungen nebst den beigefügten Bemerkungen vollständig mitgetheilt, um auch die Uebereinstimmung der unmittelbar aufeinanderfolgenden Einstellungen erkennen zu lassen.

Die Näherungsformel, durch welche Sir J. Herschel theoretisch das Verhältniss der Lichtmengen zweier verschiedener Mondphasen zu berechnen hoffte, um dadurch die Beobachtungen verschiedener

Abende mit einander zu vergleichen, wird in der Capreise p. 356 Anmerk. in folgender Weise erklärt:

»Let Δ represent the moon's *augmented semidiameter*, in seconds, at the place and moment of observation, as given by the Nautical Almanac and a table of augmentations; e her elongation from the sun; R the earth's radius vector, the mean value of R being $= 1$; 933."5 the moon's mean apparent diameter. Take

$$M = 1000 \left\{ \frac{\Delta}{933.5\, R} \sin \frac{e}{2} \right\}^3$$

then will M express the absolute quantity of light in the moon's immage (supposing all her illuminated surface equally bright), and $\frac{M}{d^2}$ the apparent intensity of our artificial star at the distance d from the eye.«

Diese Formel zeigte sich jedoch vollständig unzulänglich, was Sir J. Herschel vorzugsweise der verschiedenen Beleuchtung des Himmelsgrundes bei verschiedenem Abstande der Sterne vom Monde zuschrieb. Er bemerkt hierüber l. c. p. 356:

»But the effect of the illumination of the sky, as will presently be seen, destroys all possibility of obtaining *absolute* results in this manner, and renders it necessary to regard them as comparable only with those taken on the same night and under the same circumstances.«

Indessen hat neuerdings George P. Bond in Amerika durch eine nach Monddistanzen geordnete Zusammenstellung der Herschel'schen Beobachtungen gezeigt, dass jener Einfluss des verschieden beleuchteten Himmelsgrundes von Herschel bedeutend überschätzt wird und jene Abweichungen einen andern Grund haben müssen, der, wie ich gezeigt habe, in Vernachlässigung des Einflusses der Mondberge liegt.

Bond bemerkt bezüglich des von ihm aus jener Zusammenstellung abgeleiteten Resultates Folgendes:

»This result does not indicate any appreciable influence from the greater amount of diffused illumination of the sky in the neighborhood of the Moon, and is, therefore, ufavorable to the hypothesis that the abnormal variations of brightness of the stars

relatively to the Moon, from night to night, are to be explained by an increase in the quantity of moonlight dispersed by reflection in the atmosphere, over the whole sky.«[1])

Nach diesen Bemerkungen mag nun hier eine Copie der Originalbeobachtungen HERSCHEL's vom 3. April 1836 folgen.

Dass die Mondstrahlen, bevor sie auf die kleine Linse des Astrometers fallen, noch durch Reflexion von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden müssen, ist selbstverständlich. HERSCHEL bediente sich hierzu der totalen Reflexion eines Prismas.

Die folgenden Beobachtungen finden sich in der Capreise p. 358 und 359. Der Werth von e ist falsch, wie p. 175 Anm. bemerkt ist.

1836 April 3

$e = 200^\circ\ 57'$; $\Delta = 976''$; $\log R = 0.0003$

$\log M = 3.0234$

Vollkommen klar. Starker Südwind. Trockenes Thermometer 58°, feuchtes 50°. Sehr trockener, kalter Wind. Kein Thau.

Mittlere Zeit zu Feldhausen.	Beobachteter Abstand des Auges vom sternartigen Mondbilde des Astrometers (engl. Zoll).	Bemerkungen.
1836. Apr. 3.		
$11^h\ 16^m$	α Centauri 61.5, 59, 61 β Centauri 94.0, 96	Diese Beobachtungen wurden abwechselnd angestellt, um sich einer genaueren Vergleichung zu versichern.
$11^h\ 25^m$	α Centauri 60, 57.5, 62, 60 β Centauri 84, 87, 91, 91.5	Abwechselnd genommen für eine zweite, unmittelbare Vergleichung.
$11^h\ 45^m$	β Centauri 84, 93, 87, 86, 89 α Centauri 61.0 α Crucis 88, 95, 90, 91	Die Messungen von α Crucis und β Centauri sind abwechselnd genommen, und dazwischen eine von α Centauri als eines Versicherungssternes.

1) On the results of photometric experiments upon the light of the Moon and of the planet Jupiter made at the observatory of Harvard College by GEORGE P. BOND. Cambridge 1861, p. 246.

Mittlere Zeit zu Feldhausen.	Beobachteter Abstand des Auges vom sternartigen Mondbilde des Astrometers (engl. Zoll).	Bemerkungen.
1836. Apr. 3.		
$12^h\ 10^m$	β Centauri 90, 87, 84, 91 α Centauri 60.6 α Crucis 94, 97, 97	Das vorhergehende Verfahren wiederholt, indem abermals eine Versicherungsvergleichung mit α Centauri angestellt wurde.
$12^h\ 25^m$	β Crucis 120, 115, 123, 117, 122 α Crucis 97, 92, 95, 98	Abwechselnd genommen von $13^h\ 25^m$ bis $12^h\ 33^m$.
$12^h\ 35^m$	γ Crucis 130, 130, 128 β Crucis 118, 117, 117, 122	Abwechselnd genommen bei fortdauernder Bewegung des Auges oder indem dasselbe auf einen Punct zwischen dem wirklichen und künstlichen Stern gerichtet wurde. Es störten die im *humor aqueus* des Auges herumschwimmenden Flecken.
$12^h\ 50^m$	η Argus 107, 114, 108, 109, 113 α Crucis 95, 97, 99	Abwechselnd genommen in der oben beschriebenen Weise.
$13^h\ 5^m$	α Centauri 60, 61, 62 α Trianguli 133, 138, 136, 129, 138, 134	Der Werth 129 wurde erlangt, indem der wirkliche Stern zwischen die beiden Bilder des künstlichen Sterns gebracht wurde, von denen (bei geeigneter Stellung der Augenaxen) das eine dem rechten, das andere dem linken Auge angehört. Der Werth 134 wurde als Mittel aus zwei Versuchen erhalten, indem zuerst der künstliche Stern auf der rechten Seite des wirklichen verglichen wurde, *was diesen stets zu schwach machte* und dann auf der linken Seite, *was ihn immer zu hell erscheinen liess.* Es ist dies vielleicht die beste Art der Vergleichung.

Mittlere Zeit zu Feldhausen.	Beobachteter Abstand des Auges vom sternartigen Mondbilde des Astrometers (engl. Zoll).	Bemerkungen.
1836. Apr. 3.		
$13^h\ 25^m$	α Trianguli 124, 136, 126, 133	Diese Werthe wurden mit dem rechten Auge erlangt, indem der künstliche Stern abwechselnd, zuerst auf der rechten, dann auf der linken Seite des wirklichen verglichen wurde.
	α Trianguli 131, 133, 135, 133	Diese Beobachtungen wurden in genau derselben Weise angestellt, nur dass statt des rechten Auges das linke angewandt wurde.
$13^h\ 35^m$	α Muscae {196 rechtes, 198, 204 linkes Auge.	Zuerst wurde mit dem rechten Auge der Werth 178 erhalten, aber mit dem linken Auge als ganz unbrauchbar gefunden; mit dem rechten Auge nochmals geprüft, wurde er als falsch verworfen.
$13^h\ 52^m$	α Crucis 95, 93, 91, 95, 93, 98	
	λ Scorpii 127, 129, 131	
	α Crucis 98, 95, 94	Der Werth 100 verworfen.
	λ Scorpii 131, 133, 132, 135	
$14^h\ 8^m$	θ Scorpii 150, 153, 153, 156, 150	
$14^h\ 25^m$	ε Sagittarii 153, 153, 155	
$14^h\ 40^m$	σ Sagittarii 168, 168, 173, 175, 177, 173. 167	
$14^h\ 45^m$	ε Sagittarii 152, 155	
$14^h\ 55^m$	α Crucis 92, 92, 96, 97, 90, 96	

Mittlere Zeit zu Feldhausen.	Beobachteter Abstand des Auges vom sternartigen Mondbilde des Astrometers (engl. Zoll).	Bemerkungen.
1836. Apr. 3. 15^h 0^m 15^h 10^m	ε Centauri 179, 180, 174, 186 γ Centauri 178, 180, 183, 176.	Die Beobachtungen wurden unterbrochen, da Wolken aufzuziehen begannen. Starker und sehr kalter Südwind. Keine Spur von Thau während der ganzen Nacht und Alles vollkommen trocken.

Diese Details werden genügen, um dem Leser einen deutlichen Einblick in die Art und Weise der Beobachtungen zu verschaffen.

In Folgendem gebe ich eine Zusammenstellung sämmtlicher reducirter Beobachtungen HERSCHEL's, wobei die aufgeführten Zahlen die Logarithmen der quadrirten Abstände bedeuten, welche in den soeben mitgetheilten Messungen die Entfernungen des Auges in engl. Zollen von dem künstlichen Sterne des Astrometers ausdrüeken. Die eingeklammerten Werthe bedeuten die Zahl der einzelnen Beobachtungen.

Photometrische Beobachtungen

ausgeführt am Cap der guten Hoffnung im Jahre 1836

von

SIR JOHN HERSCHEL.

März 28

$e = 129^0$ $\Delta = 915''$

Stern	Wert	Anz.
Sirius	2.4454	(1)
Arcturus	2.9484	(1)
Rigel	3.2371	(2)
α Orionis	3.3945	(1)
ε Canis	3.7490	(1)
γ Argus	3.8287	(1)
δ Canis	3.9056	(1)
δ Argus	3.9123	(1)
ε Orionis	3.9304	(1)
λ Argus	3.9554	(1)
β Canis	3.9744	(1)
κ Orionis	3.9910	(3)
ζ Orionis	3.9991	(1)

δ Orionis	4.0522	(1)
α Leporis	4.0717	(1)
ζ Argus	4.0743	(1)
η Canis	4.1562	(1)
π Argus	4.1973	(1)
ι Orionis	4.2083	(1)

März 30

$e = 155^0$ $\Delta = 940''$

Jupiter	2.5711	(1)
Sirius	2.8755	(2)
α Centauri	3.3386	(2)
Saturn	3.4940	(2)
β Centauri	3.5490	(1)
Procyon	3.5721	(2)
Spica	3.8223	(1)
η Argus	3.8998	(1)
α Trianguli	3.9895	(2)
ε Canis	4.0043	(1)
β Argus	4.1023	(1)
δ Canis	4.1244	(1)
ε Argus	4.1313	(1)
λ Argus	4.1763	(1)
δ Argus	4.2423	(1)
ι Argus	4.3305	(1)
μ Argus	4.3835	(1)
κ Argus	4.4984	(1)
γ Trianguli	4.5072	(1)
β Trianguli	4.5158	(1)
υ Argus	4.6608	(1)

März 31

$e = 167^0$ $\Delta = 952''$

α Centauri	3.5987	(4)
β Centauri	4.0055	(6)
α Crucis	4.0891	(3)
β Crucis	4.1896	(7)

April 1

$e = 179^0$ $\Delta = 959''$

α Centauri	3.8292	(8)
β Centauri	4.1800	(6)
α Crucis	4.2274	(5)
β Crucis	4.3599	(6)
γ Crucis	4.4233	(5)

April 3

$e = 208^0$ $\Delta = 976''$

α Centauri	3.5631	(12)
β Centauri	3.8972	(16)
α Crucis	3.9496	(29)
η Argus	4.0844	(5)
β Crucis	4.1511	(9)
γ Crucis	4.2234	(3)
λ Scorpii	4.2354	(7)
α Trianguli	4.2463	(14)
θ Scorpii	4.3654	(5)
ε Sagittarii	4.3728	(5)
σ Sagittarii	4.4689	(7)
γ Centauri	4.5069	(4)
ε Centauri	4.5093	(4)
α Muscae	4.5992	(3)

April 4

$e = 221^0$ $\Delta = 978''$

α Centauri	3.2782	(9)
Arcturus	3.4807	(4)
α Crucis	3.7126	(6)
β Centauri	3.8015	(7)
η Argus	3.9388	(5)
β Crucis	3.9573	(5)
γ Crucis	4.0734	(6)
ε Sagittarii	4.2076	(4)
α Trianguli	4.2257	(3)]

σ Sagittarii	4.2835	(5)
γ Corvi	4.4851	(5)
γ Virginis	4.5106	(5)
δ Corvi	4.5756	(2)

April 7

$e = 262^0 \quad \Delta = 968''$

α Centauri	2.8627	(1)
Arcturus	3.0713	(3)
Saturn	3.2602	(3)
α Crucis	3.2770	(2)
β Centauri	3.2869	(3)
Spica	3.3368	(5)

April 26

$e = 121^0 \quad \Delta = 928''$

Sirius	2.5023	(3)
Procyon	3.4717	(7)
Spica	3.7116	(4)
β Crucis	3.7501	(2)
ε Canis	3.8765	(4)
γ Crucis	3.9133	(4)
δ Canis	3.9463	(2)
β Canis	3.9713	(4)
γ Centauri	4.0984	(2)
ε Centauri	4.1199	(5)
ζ Centauri	4.2219	(2)
β Corvi	4.2692	(3)
δ Crucis	4.3346	(2)

April 27

$e = 134^0 \quad \Delta = 944''$

α Centauris	3.3000	(3)
Antares	3.6692	(3)
β Centauri	3.6902	(5)
α Crucis	3.6964	(4)
β Crucis	3.8610	(7)
η Argus	3.8922	(3)
λ Scorpii	4.0129	(2)
γ Crucis	4.0294	(9)
θ Scorpii	4.0668	(3)
β Argus	4.1100	(2)
ε Argus	4.1138	(2)
δ Argus	4.1584	(2)
λ Argus	4.1868	(1)
ι Argus	4.2477	(1)
ε Scorpii	4.2734	(2)
δ Scorpii	4.2984	(4)
κ Argus	4.3637	(1)
γ Trianguli	4.4558	(1)
δ Crucis	4.5201	(2)
α Circini	4.5756	(1)

Juni 29

$e = 193^0 \quad \Delta = 999''$

α Centauri	3.6650	(4)
β Centauri	3.9825	(3)
α Crucis	4.0749	(4)
θ Centauri	4.4761	(2)
α Lupi	4.6121	(3)

Juli 22

$e = 105^0 \quad \Delta = 963''$

α Centauri	3.0412	(6)
Arcturus	3.1765	(4)
α Lyrae	3.4265	(3)
β Centauri	3.4807	(5)
α Aquilae	3.5778	(2)
α Trianguli	3.8143	(4)
α Pavonis	3.9463	(3)
γ Centauri	4.0614	(3)
β Corvi	4.2345	(2)

Juli 24

$e = 133^0 \quad \Delta = 987''$

α Centauri	3.3768	(5)
β Centauri	3.7897	(4)
α Aquilae	3.7916	(3)
Fomalhaut	3.9780	(4)
α Gruis	4.2042	(2)
α Pavonis	4.2943	(3)
γ Aquilae	4.4375	(2)
δ Capricorni	4.4558	(3)

Juli 26

$e = 161^0 \quad = 995''$

α Centauri	3.6042	(5)
α Eridani	3.9462	(5)
Antares	4.0029	(3)
β Centauri	4.0285	(3)
α Aquilae	4.0520	(6)
Fomalhaut	4.1462	(3)
α Gruis	4.3427	(8)
α Trianguli	4.3580	(3)
α Pavonis	4.4208	(3)
β Gruis	4.4575	(3)
β Ceti	4.5437	(3)
α Lupi	4.5995	(2)
α Phoenicis	4.6004	(3)

August 22

$e = 130^0 \quad \Delta = 982''$

α Eridani	3.7501	(4)
β Ceti	4.1596	(6)
α Phoenicis	4.3187	(3)

August 23

$e = 143^0 \quad \Delta = 984''$

α Aquilae	3.9404	(8)
Fomalhaut	4.0682	(6)
α Gruis	4.1822	(3)
θ Scorpii	4.2428	(4)
α Pavonis	4.2860	(3)

November 19

$e = 142^0 \quad \Delta = 922''$

Sirius	2.6444	(2)
Canopus	3.0565	(4)
Rigel	3.5563	(2)
α Eridani	3.6608	(3)
Fomalhaut	3.9426	(5)
ε Canis	4.0828	(4)
α Gruis	4.1656	(2)
δ Canis	4.2030	(3)
β Gruis	4.2121	(3)
β Canis	4.2518	(3)
η Canis	4.3405	(2)
o 2 Canis	4.6107	(1)

November 25

$e = 211^0 \quad \Delta = 886''$

α Orionis	3.5015	(3)
γ Orionis	3.8790	(1)

December 17

$e = 123^0 \quad \Delta = 914''$

Sirius	2.5105	(1)
α Orionis	3.3848	(4)
ε Orionis	3.8840	(2)
ζ Orionis	3.9600	(2)

December 26

$e = 224^0 \quad \Delta = 886''$

α Crucis	3.7385	(4)
η Argus	3.8926	(4)
β Crucis	3.8956	(3)

Um aus den vorstehend mitgetheilten Zahlen den Logarithmus des Helligkeitsverhältnisses zweier Sterne zu finden, hat man nur die den entsprechenden Sternen beigesetzten Werthe von einander zu subtrahiren, mit Berücksichtigung, dass sich die Helligkeiten umgekehrt wie die Quadrate der gemessenen Entfernungen verhalten.

So würde sich also z. B. aus den Beobachtungen vom 28. März für $\log \frac{\text{Sirius}}{\text{Arcturus}}$ die Zahl 0.5030 ergeben, d. h. Sirius wäre 3.18 Mal heller als Arcturus.

Hierbei ist jedoch zu bemerken, dass bei allen diesen Beobachtungen der Einfluss der Zenithdistanz auf die Helligkeit ganz unberücksichtigt geblieben ist. Um mir nun ein Urtheil über die Uebereinstimmung der an verschiedenen Abenden für dieselben Sterne erhaltenen Werthe zu verschaffen, habe ich für die Sterne α und β Centauri, die an 11 Abenden bei verschiedenen Mondphasen beobachtet worden sind[1], aus den von HERSCHEL angegebenen Beobachtungszeiten die Zenithdistanzen berechnet und aus der SEIDEL'schen Extinctionstafel die entsprechenden Correctionen angebracht. Von diesen 11 Abenden sind jedoch bei der folgenden Zusammenstellung 2 ausgeschlossen. Den ersten, 28. März, bezeichnet HERSCHEL selbst nur als einen Versuchsabend, an dem es ihm noch

1) Hierdurch war es mir möglich, die relative Lichtstärke der verschiedenen Mondphasen zu berechnen, deren sich HERSCHEL zur Erzeugung seines künstlichen Sternes bedient hatte. Ich habe jedoch hierzu nicht nur α und β Centauri, sondern auch alle anderen Sterne benutzt, welche an verschiedenen Abenden beobachtet worden sind; die auf Taf. IV gegebene Curve ist in dieser Weise durch vielfache Kreuzung der erhaltenen Werthe abgeleitet worden. Hierbei ist aber ein Fehler in den von HERSCHEL angegebenen Elongationen des Mondes die Veranlassung gewesen, dass die beiden Intensitäten, welche beim abnehmenden Monde in der Curve durch die Ordinaten 57 und 40 repräsentirt sind, zu falschen Abscissen (Elongationen) gesetzt wurden. Es entspricht nämlich die Ordinate 57 nicht einer Elongation von 201°, sondern von 208°, und die Ordinate 40 nicht einer Elongation von 212°, sondern von 221°. Nach Anbringung dieser Verbesserungen fällt beim abnehmenden Monde die aus HERSCHEL's Beobachtungen abgeleitete Curve fast vollständig mit der meinigen zusammen. Ich entdeckte den erwähnten Fehler in der Elongation (April 3. $\varepsilon = 200° 57'$ statt 208°, vgl. Capreise p. 358) erst bei der hier durchgeführten, genaueren Reduction der HERSCHEL'schen Beobachtungen, wobei ich alle Elongationen noch einmal nachrechnete.

gänzlich an Uebung im Beobachten fehlte (vgl. Capreise p. 363), beim zweiten, 4. April, sind ausdrücklich ungünstige Umstände vermerkt[1]), so dass die folgende Zusammenstellung die noch übrig bleibenden 9 Beobachtungsabende umfasst.

No.	Datum.	Log $\frac{\beta \text{ Centauri}}{\alpha \text{ Centauri}}$ (beobachtet).	Zahl der Beob.	Log. Zenith-reduction.	Log $\frac{\beta \text{ Centauri}}{\alpha \text{ Centauri}}$ (reducirt).	Abweichung vom Mittel.
1	1836. März 31	9.5932	(10)	9.9840	9.5772	— 0.0307
2	April 1	9.6492	(14)	9.9850	9.6342	+ 0.0263
3	April 3	9.6659	(28)	9.9970	9.6629	+ 0.0550
4	April 7	9.5758	(4)	9.9986	9.5738	— 0.0341
5	April 27	9.6100	(8)	9.9820	9.5920	— 0.0159
6	Juni 29	9.6826	(7)	0.0010	9.6837	— 0.0242
7	Juli 22	9.5605	(11)	0.0000	9.5605	— 0.0474
8	Juli 24	9.5871	(9)	0.0150	9.6021	— 0.0058
9	Juli 26	9.5756	(8)	0.0090	9.5846	— 0.0233
				Mittel =	9.6079	± 0.0079

Es ergiebt sich hieraus für den wahrscheinlichen Fehler eines einzelnen Abends der Werth ± 0.0236 oder etwa 5.6 Procent des gemessenen Helligkeitsverhältnisses. Der oben angegebene wahrscheinliche Fehler des Mittels aus 9 Abenden würde nur eine Unsicherheit von 1.9 Procent im Intensitätsverhältniss der verglichenen Sterne bedingen.

Man sieht also, dass die astrometrische Methode Sir John Herschel's, trotz ihrer grossen Unbequemlichkeit und primitiven Einfachheit, dennoch Resultate liefert, deren Genauigkeit man nicht in dem Masse zu unterschätzen berechtigt ist, wie dies im Allgemeinen bis jetzt geschah.

1) »Obliged to desist owing to wind and other circumstances unfavorable to good observing. There seem to have been some misreadings as in the case of γ Virginis, and altogether I have little confidence in this series.« (Capreise p. 359.)

Es fragt sich nur, ob die nach jener Methode erhaltenen Werthe wirklich das Intensitätsverhältniss der verglichenen Lichtmengen ausdrücken und daher mit den nach anderen Methoden erlangten Resultaten vergleichbar sind.

Nach dem, was oben über die befriedigende Uebereinstimmung der aus HERSCHEL's und meinen Beobachtungen abgeleiteten Werthe für die relative Lichtstärke verschiedener Mondphasen gesagt wurde, muss jene Frage bejaht werden.

Da sich unter den mitgetheilten Beobachtungen auch einige von Jupiter und Saturn befinden, so habe ich dieselben mit Berücksichtigung der Zenithdistanz und der Lage des Saturnsringes auf mittlere Opposition reducirt, um die so erhaltenen Werthe mit den früher (p. 136 und p. 145) von SEIDEL und mir angeführten zu vergleichen.

HERSCHEL verglich am 30. März Jupiter, Saturn und Spica, und am 7. April nur Saturn mit Spica.

Aus eigenen Beobachtungen erhielt ich oben (p. 132) für $\log \frac{\text{Spica}}{\text{Wega}}$ die Zahl 9.6013 und vier Seiten weiter für $\log \frac{\text{Wega}}{\text{Capella}}$ den Werth 9.9877, so dass hieraus $\log \frac{\text{Spica}}{\text{Capella}} = 9.5890$. Mit Hülfe dieses Werthes ergab sich aus den angeführten Beobachtungen HERSCHEL's:

$$\log \frac{\text{Jupiter mittl. Opp.}}{\text{Capella}} = 1.0784 \qquad (1836)$$

Die Werthe, welche an den angeführten Stellen SEIDEL und ich für dieselbe Grösse erhalten hatten, waren:

SEIDEL	1.0082	(1845—1857)
ZÖLLNER	1.0064	(1862—1864)

Berücksichtigt man, dass der obige Werth HERSCHEL's nur aus zwei einzelnen Beobachtungen (für jeden Stern eine) abgeleitet worden ist, so muss die Uebereinstimmung mit den von SEIDEL und mir erhaltenen Werthen, wie ich glaube, als eine ganz gute bezeichnet werden.

Die Reduction der beiden Saturnsbeobachtungen giebt allerdings ein so wenig befriedigendes Resultat, dass man berechtigt wäre, die Uebereinstimmung beim Jupiter als eine mehr zufällige zu betrachten. Allein die befriedigenden Ergebnisse unserer Mondbeobachtungen,

bei welchen ein verhältnissmässig viel grösseres Beobachtungsmaterial verwerthet werden konnte, dürfen hierbei nicht unberücksichtigt bleiben, eben so wenig wie die oben für α und β Centauri in verschiedenen Nächten und unter verschiedenen Umständen erhaltenen Resultate.

Ich bin daher geneigt, bei den beiden Saturnbeobachtungen irgend welche störende Einflüsse anzunehmen, die sich freilich aus den Angaben in der Capreise nicht entnehmen lassen.

Am ersten Abend, am 30. März, findet Herschel den Saturn etwa 2,13 Mal heller als Spica und 8 Tage später, am 7. April, nur 1,19 Mal heller. Ohne sich auf genauere Reductionen einzulassen, ist schon aus diesen Werthen zu ersehen, dass die Beobachtungen nicht viel taugen können, denn in so kurzer Zeit kann Saturn nicht die durch jene Beobachtungen geforderte Helligkeitsänderung erleiden.

Uebrigens kam es mir bei der hier durchgeführten genaueren Discussion von Herschel's astrometrischen Beobachtungen im Wesentlichen nur darauf an, den Nachweis zu liefern, dass durch die Benutzung einer grossen Anzahl jener so mühevoll und umsichtig angestellten Messungen für ein bestimmtes Helligkeitsverhältniss Werthe erlangt werden können, welche im Allgemeinen mit den von Seidel und mir gefundenen übereinstimmen.

58.

In der folgenden Copie von Originalbeobachtungen habe ich alle diejenigen unmittelbaren Ablesungen am Kreise meines Photometers zusammengestellt, welche zur Berechnung der im Texte für die Helligkeit der verschiedenen Mondphasen angegebenen Werthe benutzt worden sind.

Die angewandte Beobachtungsmethode ist jedesmal besonders bezeichnet. Bei Vergleichung leuchtender Puncte ist die Einstellung des Objectivkreises (O. K.) angegeben und entweder mit + oder − bezeichnet, je nachdem die Einstellung in dem einen oder andern zweier benachbarter Quadranten stattfand.

Die am Kreise des Photometers ebenfalls in benachbarten Quadranten gemachten Einstellungen sind in den durch eine Klammer

verbundenen Zahlen angegeben. Der hinter der Klammer befindliche Mittelwerth giebt alsdann die vom Collimationsfehler befreite photometrische Einstellung an. — Die Zeit (mittlere Leipziger Zeit) wurde beim Beginn und am Schlusse der Beobachtungen notirt und das Mittel dieser Werthe als die eigentliche Beobachtungszeit angesetzt — Die Zenithdistanz wurde mit Hülfe eines Prismenkreises bestimmt und zwar, wenn das Gestirn nicht sehr hoch stand, nach jeder vollständigen Messung (2 Ablesungen). Die Mondhöhen sind unter der Bezeichnung H angegeben.

Die Berechnung der relativen Helligkeit zweier Mondphasen aus den hier mitgetheilten Beobachtungswerthen ist an der betreffenden Stelle dieser Schrift (p. 94 und 98) genauer erörtert worden.

Bei der ersten Methode (Vergleichung leuchtender Flächen) wird die beobachtete Helligkeit durch das Quadrat der Tangente, bei der zweiten Methode (Vergleichung leuchtender Puncte) durch das Quadrat des Sinus des Ablesungswinkels ausgedrückt.

Da die Schwankungen in der Durchsichtigkeit der Luft und der Helligkeit der Flamme damals noch nicht durch Beobachtungen eines unveränderlichen Fixsterns (Capella) controlirt werden konnten, so waren im Voraus zwischen den absoluten Werthen der gemessenen Helligkeiten in verschiedenen Jahreszeiten Abweichungen zu erwarten. Indessen gelang es stets durch Multiplication sämmtlicher während einer Lunation erhaltener Beobachtungen mit ein und derselben Constante die erhaltenen Werthe den früheren in der befriedigendsten Weise anzuschliessen und so die auf Taf. IV mitgetheilte Helligkeitscurve zu construiren.

Uebrigens war eine solche Reduction, abgesehen natürlich von dem Uebergang der einen Methode zur andern, nur ein Mal erforderlich, nämlich beim Anschluss der Beobachtungen aus dem Jahre 1863 an diejenigen des Jahres 1864.

Die Reduction der Beobachtungen auf das Zenith geschah mit Hülfe der älteren SEIDEL'schen »Extinctionstafel«, welche am Schlusse dieses Abschnittes mitgetheilt ist.

Copie der Originalbeobachtungen des Mondes.

Methode II.

1863. November 21.

Luft sehr klar.

$v = 139^0$

Anfang $= 10^h\ 59^m$ Ende $= 12^h\ 4^m$

O. K. = + 25°		O. K. = − 25°		O. K. = + 35°		O. K. = − 35°	
13.6	13.2	13.0	13.1	20.7	19.5	19.0	19.4
12.9		13.2		18.3		19.8	
13.2	13.3	13.6	13.3	19.8	19.9	19.1	18.8
13.4		13.1		19.9		18.6	

H = 41°.5 H = 43°.1

O. K. = + 15°		O. K. = − 15°		O. K. = + 50°		O. K. = − 50°	
9.1	8.9	9.7	9.2	27.4	26.5	26.8	25.6
8.8		8.8		25.6		24.3	
9.2	9.3	9.0	9.0	28.0	26.4	25.9	25.8
9.5		9.0		24.9		25.7	

H = 44°.7 H = 45°.8

November 27.

Luft sehr klar.

$v = 208^0$

Anfang $= 9^h\ 15^m$ Ende $= 9^h\ 45^m$

O. K. = + 25°		O. K. = − 25°		O. K. = + 35°		O. K. = − 35°	
14.3	14.1	14.6	13.9	20.4	20.1		
14.0		13.2		19.7			
15.0	14.6	13.8	14.0	20.4	20.1	20.7	20.8
14.2		14.2		19.8		19.3	

H = 29°.3 H = 31°.8

November 28.

Luft sehr klar.

$v = 219^0$

Anfang = $8^h\ 45^m$ Ende = $10^h\ 15^m$

O. K. = + 25°		O. K. = − 25°		O. K. = + 35°		O. K. = + 35°	
10.0	9.8	10.6	10.7	15.0	14.8	15.4	15.0
9.7		10.8		14.6		14.7	
10.0	10.1	11.1	11.0	14.6	14.8	15.8	15.3
10.2		10.8		15.0		14.8	

H = 18° H = 21°

O. K. = + 25°		O. K. = − 25°		O. K. = + 70°		O. K. = − 70°	
11.5	11.2	12.2	11.8	25.5	24.9	25.2	24.9
11.0		11.5		24.3		24.7	
11.3	11.2	11.3	11.6	26.0	25.9	25.9	25.9
11.1		12.0		25.8		26.0	

H = 24°.4 H = 27°.0

November 30.

Luft klar.

$v = 242^0$

Anfang = $11^h\ 15^m$ Ende = $12^h\ 0^m$

O. K. = + 25°		O. K. = − 25°		O. K. = + 35°		O. K. = − 35°	
8.0	7.8	7.8	7.8	12.1	11.5	11.7	11.0
7.6		7.7		10.9		10.4	
8.1	7.9	8.0	7.6	10.7	10.8	11.8	11.5
7.8		7.3		11.0		11.1	

H = 19°.0 H = 21°.9

O. K. = + 25°		O. K. = − 25°		O. K. = + 70°		O. K. = − 70°	
9.0	8.7	8.8	8.6	19.0	18.8	18.7	18.2
8.5		8.4		18.5		17.8	
8.6	8.8	9.1	8.8	18.7	18.4	18.2	18.4
9.2		8.5		18.2		18.5	

H = 25°.3 H = 26°.8

1864.

Methode I.

März 19.

Luft klar.

$v = 140^0$

A. $= 9^h 36^m$ E. $= 10^h 0^m$

Prismenkreis.	Photometer.	
96°.2	10.4 10.9	10.6
	10.3 10.5	10.4
	10.4 10.4	10.4
	10.7 10.4	10.5
	10.9 10.2	10.6
	10.4 10.3	10.3
	10.0 10.6	10.3
	10.1 10.8	10.4
95.2	10.1 10.7	10.4

März 20.

Luft etwas dunstig.

$v = 152^0$

A. $= 10^h 55^m$ E. $= 11^h 15^m$

Prismenkreis.	Photometer.	
86°.7	11.1 11.1	11.1
	11.0 11.3	11.1
	11.1 11.3	11.2
	11.0 11.3	11.2
	10.9 11.1	11.0
	11.1 11.2	11.1
Am Schlusse sehr feine Cirribildung.	11.8 10.0	10.9
78°.5	11.0 10.8	10.9

März 23.

Luft etwas dunstig.

$v = 185^0$

A. $= 9^h 55^m$ E. $= 12^h 0^m$

Prismenkreis.	Photometer.	
30°.3	11.9 11.7	11.7
31.7	12.1 11.7	11.9
33.7	12.0 11.6	11.8
37.7	12.6 12.5	12.5
38.7	12.5 12.0	12.3
39.6	12.5 12.0	12.2

März 23.

(Fortsetzung.)

Prismenkreis.	Photometer.		Prismenkreis.	Photometer.	
60°3	14.0 / 13.4	13.7	61°5	14.2 / 13.8	14.0
	13.7 / 13.4	13.5		14.1 / 14.0	14.1
	13.8 / 13.3	13.6		14.5 / 14.1	14.3
	13.9 / 13.1	13.5			

Bei den folgenden Beobachtungen ist sowohl die Combination der Blendgläser als auch die angewandte blaue Glasplatte eine andere.

Mai 20.

Luft sehr klar.

$v = 172^0$

A. = $9^h\,30^m$ E. = $10^h\,0^m$

Prismenkreis.	Photometer.	
33°7	14.7 / 14.8	14.7
	14.7 / 14.6	14.6
34.3	14.9 / 14.5	14.7
	14.9 / 14.6	14.7
35.0	14.5 / 15.0	14.8
35.7	15.1 / 15.0	15.0
	15.3 / 15.2	15.2
36.7	15.7 / 15.0	15.3
37.2	15.4 / 15.4	15.4
38.5	15.7 / 15.3	15.5

Juni 19.

Luft sehr klar.

$v = 179^0$

A. = $10^h\,25^m$ E. = $11^h\,0^m$

Prismenkreis.	Photometer.	
29°0	16.0 / 14.4	15.2
30.1	15.5 / 14.1	14.8
31.7	15.9 / 14.0	14.9
	15.7 / 14.4	15.0
	16.4 / 15.0	15.7
34.0	16.2 / 15.0	15.6
	16.5 / 15.2	15.8

Juni 20.

Luft anfangs etwas dunstig, später wieder klar.

$v = 193^0$

A. $= 10^h 15^m$ E. $= 11^h 10^m$

Prismenkreis.	Photometer.	
31°.3	14.3 / 13.0	13.6
32.0	14.4 / 13.3	13.8
32.5	14.8 / 13.5	14.1
33.0	15.1 / 13.7	14.4
33.3	15.2 / 14.0	14.6
33.7	15.0 / 14.0	14.5
34.0	14.8 / 14.0	14.4
35.0	15.0 / 14.2	14.6

Juni 21.

Luft sehr klar.

$v = 207^0$

A. $= 11^h 35^m$ E. $= 12^h 15^m$

Prismenkreis.	Photometer.	
30.3	12.5 / 11.4	11.9
32.3	12.5 / 11.7	11.1
33.0	12.4 / 11.7	12.0
34.3	12.2 / 11.3	11.7
	12.8 / 11.9	12.3
35.3	13.0 / 12.0	12.5
	12.8 / 12.5	12.7
36.7		
	12.9 / 12.3	12.6

Juni 22.

Luft klar.

$v = 222^0$

A. $= 13^h 25^m$ E. $= 13^h 45^m$

Prismenkreis.	Photometer.	
46.0	11.7 / 9.9	10.8
46.7	11.4 / 10.2	10.8
	11.7 / 10.0	10.8
48.0	11.9 / 10.0	10.9
	12.0 / 10.3	11.1
48.3	11.9 / 10.3	11.1

Juni 24.

Anfangs Cirri, später sehr klar.

$v = 249^0$

A. $= 13^h 30^m$ E. $= 14^h 0^m$

Prismenkreis.	Photometer.	
45°.0	7.0 / 6.0	6.5
	6.8 / 6.3	6.5
	7.2 / 6.5	6.8
	7.0 / 6.4	6.7
	6.9 / 7.0	6.9
50.0	7.2 / 7.0	7.1

Methode II.

Bemerkung. Bei den folgenden Beobachtungen nach Methode II wurde der Collimationsfehler des Objectivkreises besonders bestimmt, so dass hierdurch die Einstellungen desselben in benachbarten Quadranten nicht mehr erforderlich waren. Wo nichts Besonderes bemerkt ist, ist dieser Fehler gleich 0.

Juli 13.

Luft sehr klar.

Anfang = $9^h\,30^m$ $v = 110^0$ Ende = $9^h\,50^m$

O. K. = 60°		O. K. = 40°		O. K. = 70°	
Prismenkr.	Photomtr.	Prismenkr.	Photomtr.	Prismenkr.	Photomtr.
31°5	10.6 10.8 } 10.7		8.0 7.3 } 7.6	27.0	11.3 10.2 } 10.7
	10.3 10.8 } 10.6	28°0	7.8 6.7 } 7.3		11.1 10.7 } 10.9
30.0	10.9 10.0 } 10.4		8.0 7.1 } 7.5	26.0	11.4 10.0 } 10.7

Juli 14.

Luft sehr klar.

Anfang = $9^h\,35^m$ $v = 122^0$ Ende = $10^h\,5^m$

O. K. = 60°		O. K. = 40°		O. K. = 50°	
Prismenkr.	Photomtr.	Prismenkr.	Photomtr.	Prismenkr.	Photomtr,
32°0	13.0 12.6 } 12.8	29.2	9.2 8.6 } 8.9	27°0	10.5 10.5 } 10.5
31.3	12.9 12.1 } 12.5		9.0 8.7 } 9.1		10.3 9.4 } 9.8
	12.0 12.0 } 12.0	28.0	9.0 8.5 } 8.7	26.5	9.9 8.7 } 9.3
30.0	12.7 11.8 } 12.2			26.0	8.9 9.8 } 9.2

Juli 15.

Luft sehr klar.

Anfang = $9^h\ 0^m$ $v = 134^0$ Ende = $10^h\ 5^m$

O. K. = 60⁰ Prismenkr.	Photomtr.	O. K. = 40⁰ Prismenkr.	Photomtr.	O. K. = 70⁰ Prismenkr.	Photomtr.
36.0	15.6 15.1 } 15.3		11.5 11.0 } 11.2	34.7	16.8 16.1 } 16.4
35.8	15.5 15.0 } 15.2	35.0	11.4 11.1 } 11.3		16.8 15.5 } 16.2
	15.3 14.8 } 15.0		11.3 11.3 } 11.3		15.7 15.5 } 15.6
35.5	15.7 14.5 } 15.1		11.7 10.1 } 10.9	34.0	16.0 15.4 } 15.7

Juli 16.

Luft klar,

dem Anscheine nach jedoch nicht so durchsichtig als an den vorigen Abenden.

Anfang = $9^h\ 30^m$ $v = 147^0$ Ende = $10^h\ 35^m$

O. K. = 60⁰ Prismenkr.	Photomtr.	O. K. = 40⁰ Prismenkr.	Photomtr.	O. K. = 30⁰ Prismenkr.	Photomtr.
34.7	18.3 17.4 } 17.8		14.0 13.3 } 13.6	34.0	11.7 10.5 } 11.1
	18.6 16.6 } 17.6	35.0	14.2 12.6 } 13.4		10.5 10.7 } 10.0
	17.6 17.2 } 17.4		13.9 13.5 } 13.7		11.2 10.0 } 10.6
35.0	18.3 16.8 } 17.5		13.0 13.5 } 13.2	33.3	11.0 10.1 } 10.5

Juli 17.

Luft nicht so klar wie an den vorhergehenden Tagen, zuweilen sehr feine Cirri bemerkbar.

Anfang $= 10^h\,45^h$ $v = 161^0$ Ende $= 11^h\,20^m$

O. K. = 60° Prismenkr.	Photomtr.	O. K. = 40° Prismenkr.	Photomtr.	O. K. = 30° Prismenkr.	Photomtr.
36°.7	23.5, 22.0 } 22.7	36°.5	17.3, 17.2 } 17.2	36°.5	14.0, 12.9 } 13.4
	23.8, 22.5 } 23.2		16.3, 16.3 } 16.3		13.0, 12.5 } 12.8
	23.9, 22.0 } 22.9		16.9, 15.7 } 16.3		12.9, 12.2 } 12.5
	22.5, 22.8 } 12.7		16.9, 16.5 } 16.7		13.1, 12.4 } 12.7

August 15.

Luft sehr klar.

Anfang $= 9^h\,15^m$ $v = 156^0$ Ende $= 9^h\,45^m$

Collimationsfehler des O. K. $= +0°.8$

O. K. = 50° Prismenkr.	Photomtr.	O. K. = 50° Prismenkr.	Photomtr.	O. K. = 20° Prismenkr.	Photomtr.
41°.7	21 8, 21.9 } 21.9	42°.2	21.0, 21.2 } 21.6	42.7	8.8, 8.1 } 8.4
	22.1, 21.5 } 21.8		21.3, 21.5 } 21.4		8.7, 8.5 } 8.6

September 13.

Luft sehr klar.

Anfang $= 11^h\,30$ $v = 153^0$ Ende $= 12^h\,8^m$

Collimationsfehler des O. K. $= +0°.7$

O.K. = 20° P.K.	Photmtr.	O.K. = 40° P.K.	Photmtr.	O.K. = 30° P.K.	Photmtr.	O.K. = 20° P.K.	Photmtr.
51°.5	9.4, 8.4 } 8.9	49°.2	17.3, 17.5 } 17.4	48°.0	13.0, 12.9 } 12.9	47°.0	8.6, 8.4 } 8.5
50.0	9.0, 8.7 } 8.8		17.3, 17.0 } 17.3		13.3, 12.0 } 12.7		8.8, 8.3 } 8.6

November 12.

Bemerkung. Bei den folgenden Beobachtungen wurde die Höhe des Mondes direct an dem Kreise des Photometers abgelesen, welcher durch einen am Stativ befestigten Index gleichzeitig als Höhenkreis benutzt werden kann. Diese Einrichtung habe ich bereits früher bei Beschreibung meines Astrophotometers angegeben. Vgl. Photometrie des Himmels p. 14.

Luft sehr klar.

Anfang = $10^h\,15^m$ $v = 169^0$ Ende = $10^h\,30^m$

Collimationsfehler des O. K. = + 0.7 Mittlere Höhe des Mondes = 53°0

O. K. = 10°4 Photometer.	O. K. = 40°2 Photometer.	O. K. = 20°9 Photometer.
6.1, 6.1 } 6.1	25.1, 23.3 } 24.2	12.8, 11.4 } 12.1
6.2, 5.8 } 6.0	25.1, 24.1 } 24.6	12.4, 11.5 } 11.9

November 17.

Luft sehr klar.

Anfang = $12^h\,14^m$ $v = 232^0$ Ende = $12^h\,27^m$

Collimationsfehler des O. K. = + 0°7

O. K. = 35°2 Höhe.	O. K. = 35°2 Photometer.	O. K. = 23°8 Höhe.	O. K. = 23°8 Photometer.
	10.2, 9.7 } 10.0		7.8, 7.1 } 7.4
37°7	10.5, 10.0 } 10.2	39°0	7.6, 7.3 } 7.4
	10.1, 10.3 } 10.2		7.4, 7.2 } 7.3

Copie der photometrischen Originalbeobachtungen
von
Uranus und Neptun
mit dem sechsfüssigen Refractor der Leipziger Sternwarte.

Bei der Neuheit photometrischer Messungen an Gestirnen halte ich mich im Interesse des von mir construirten Astrophotometers für verpflichtet, die photometrischen Originalbeobachtungen der beiden äussersten Planeten hier vollständig mitzutheilen. Die gute Uebereinstimmung der einzelnen Ablesungen bei der zu diesen Beobachtungen nothwendigen und oben p. 148 beschriebenen Modification des Photometers, wird den Beweis liefern, dass der Anwendbarkeit meiner Methode auch auf die lichtschwächsten Objecte Nichts mehr hindernd im Wege steht. Gleichzeitig ersieht man, in wie einfacher und bequemer Weise mein Photometer mit jedem beliebigen Fernrohre verbunden werden kann.

Mit Hülfe des Colorimeters, dessen Einstellung selbstverständlich bei allen Messungen dieselbe blieb, konnte den künstlichen Sternen eine mit den natürlichen vollkommen übereinstimmende Färbung ertheilt werden. Die Höhe des Gestirns habe ich bei den Beobachtungen mit dem Refractor aus der Zeit berechnet. A. und E. bedeuten Anfang und Ende. Das Mittel aus beiden Zeiten wurde zur Bestimmung der Höhe benutzt.

Wegen zu grosser Helligkeitsdifferenz konnte Neptun nicht direct durch dasselbe Instrument mit Capella verglichen werden. Ich war daher genöthigt, ein indirectes Verfahren einzuschlagen, indem ich an den beiden ersten Abenden die Sterne 4ter Grösse τ und π Tauri zuerst direct mit Neptun, und alsdann, mit Hülfe eines lichtschwächeren Instrumentes von 2 Zoll Oeffnung und 20 Zoll Brennweite (Combination III), direct mit Capella verglich. An den beiden letzten Abenden bestimmte ich mit Hülfe dieser Combination III das Helligkeitsverhältniss von Uranus und Capella direct, so dass durch Vermittelung von Uranus auch das Helligkeitsverhältniss von Capella und Neptun berechnet werden konnte.

1864.

November 17.

Luft sehr klar.

Refractor.

Neptun. A. = $7^h 10^m$ E. = $7^h 25^m$		τ Tauri. A. = $7^h 57^m$ E. = $7^h 49^m$		Uranus. A. = $8^h 2^m$ E. = $8^h 9^m$	
6.0 5.4	5.7	28.8 31.9	30.3	13.6 14.7	14.1
6.1 5.6	5.8	29.7 28.3	29.0	14.8 14.9	14.8
6.4 6.4	6.4	30.2 27.8	29.0	15.0 14.2	14.6
6.3 6.1	6.2	27.9 30.0	28.9	14.4 16.0	15.2

Combination III.

A. = $10^h 45^m$ E. = $11^h 24^m$

τ Tauri.			Capella.			τ Tauri.			Capella.		
Höhe.	Photmtr.		Höhe.	Photmtr.		Höhe.	Photmtr.		Höhe.	Photmtr.	
54°0	4.8 5.0	4.9	69°5	39.0 39.8	39.4	56°0	5.2 5.1	5.1	71°0	43.1 41.0	42.0
	5.1 5.0	5.0		41.5 42.0	41.7		5.1 5.3	5.2		41.5 39.0	40.2
				43.5 40.1	41.8						

November 23.

Luft sehr klar.

Refractor.

Uranus. A. = 7h 30m E. = 7h 38m		π Tauri. A. = 9h 20m E. = 9h 30m		Neptun. A. = 9h 40m E. = 9h 50m	
14.9 16.2	15.6	47.8 44.2	46.0	6.5 5.6	6.0
16.0 15.0	15.5	46.6 49.0	47.8	6.3 6.3	6.3
15.2 15.8	15.5	47.1 49.9	48.5	6.0 6.4	6.2
15.9 16.1	16.0	50.8 49.9	50.3	6.3 6.5	6.4

Combination III.

π Tauri. A. = 10h 30m E. = 10h 50m			Capella. A. = 10h 53m E. = 11h 0m		
Höhe.	Photomtr.		Höhe.	Photomtr.	
38°.8	7.2 7.8	7.5		45.1 44.0	44.5
	7.0 7.1	7.0		45.5 45.2	45.3
	7.3 7.7	7.0	70°.1	45.4 44.7	45.1
39°.9	7.2 7.3	7.2		45.6 45.0	45.3

November 30.

Luft sehr klar.

Refractor. A. = 8h 20m Uranus.	Refractor. E. = 8h 38m Neptun.	Combination III. A. = 11h 14m Uranus. Höhe.	Photmtr.	Combination III. E. = 11h 40m Capella. Höhe.	Photmtr.
19.3, 17.1 } 18.20	7.3, 6.1 } 6.70	56°3	3.3, 3.2 } 3.25		44.3, 44.4 } 44.35
19.2, 18.2 } 18.70	8.1, 6.3 } 7.20		3.0, 3.1 } 3.05		46.2, 42.4 } 44.30
20.8, 19.6 } 20.20	8.0, 6.6 } 7.30		3.4, 3.2 } 3.30	81°0	46.7, 44.1 } 45.40
20.3, 17.9 } 19.15	8.8, 5.9 } 7.35	57°5	3.3, 3.2 } 3.25		43.0, 43.1 } 43.05
21.0, 19.5 } 20.25	8.0, 6.4 } 7.20				

December 12.

Luft sehr klar.

Refractor. A. = 6h 40m Neptun.	Refractor. E. = 7h 0m Uranus.	Combination III. A. = 7h 45m Uranus. Höhe.	Photmtr.	Combination III. E. = 8h 7m Capella. Höhe.	Photmtr.
7.5, 7.5 } 7.50	19.2, 21.0 } 20.10	32°2	3.1, 3.0 } 3.05	55°5	43.7, 47.5 } 45.60
7.4, 7.0 } 7.10	17.4, 21.5 } 19.45		3.4, 3.0 } 3.20		44.3, 44.0 } 44.15
7.3, 7.3 } 7.30	19.4, 21.0 } 20.20		3.2, 3.1 } 3.15		43.0, 46.1 } 44.55
7.3, 7.2 } 7.25	19.4, 21.0 } 20.20	33°4	3.3, 3.0 } 3.15	56°4	44.0, 46.0 } 45.00

59.

Vor der Mittheilung der in Leipzig angestellten Durchmesserbestimmungen von Uranus und Neptun mag hier noch eine kurze Zusammenstellung derjenigen Beobachtungen folgen, welche ausserdem bei Berechnung der lichtreflectirenden Kräfte von mir benutzt wurden.

1. Uranus.

Beobachter.	Epoche.	*a*	*b*	Abplattung.	Nächte.	Entfernung.	Quelle.
Mädler	1842.7	4″27	3″94	$\frac{1}{10.85}$	5	19.086	Dorp. Beob. X.
»	1843.7	4.327	3.891	$\frac{1}{9.92}$	7	19.079	» » XI.
»	1845.7	4.45	3.98	$\frac{1}{9.45}$	6	19.057	» » XIII.
Lassell	1862	4″134		keine	5	18.820	Astr. N. 36 p. 96.

2. Neptun.

Beobachter.	Epoche.	Durchmesser.	Nächte.	Quelle.
Mädler	1846.8	2″436	5	Astr. N. 25 p. 107.
Hind	1846.8	2.529	1	» » 25 p. 96.
Lassell	1852.9	2.713	8	» » 36 p. 96.

Durchmesser-Bestimmungen
von
Uranus und **Neptun**
am zwölffüssigen Refractor der Leipziger Sternwarte.

Die eingeklammerten Werthe für die Durchmesser sind durch Schätzung erhalten worden, wobei sich die Planetenscheibe nicht zwischen den beiden Fäden des Filarmikrometers befand, sondern die letzteren nur so weit von einander entfernt wurden, bis ihr Abstand

gleich dem Durchmesser der daneben befindlichen Scheibe war. Die übrigen Werthe wurden durch directe Messungen erhalten.

Herr Dr. R. ENGELMANN, dessen Güte ich die folgende Zusammenstellung verdanke, bemerkt bezüglich seiner Beobachtungen Folgendes:

»Die Messungen (resp. Schätzungen) des Neptun waren stets sehr schwer, da der Planet nie als scharf begrenzte Scheibe, sondern nur als matter, planetarischer Nebelfleck mit centraler Verdichtung erschien. Uebrigens scheinen sowohl bei ihm wie bei Uranus zwischen den Messungen und Schätzungen constante Unterschiede stattzufinden, die sich nicht wohl anders als dadurch erklären lassen, dass man bei der Schätzung doch unwillkürlich den Abstand der Mittellinien der Fäden und nicht den der innern, resp. äussern Grenzlinien vergleicht. —

Die Columne »*p*« bezieht sich auf die Einstellungen des Positionswinkels; sowohl bei Neptun als bei Uranus habe ich keine wesentlichen Unterschiede zwischen den drei Richtungen: 0^0, 45^0 und 90^0 auffinden können.«

Die angeführten Durchmesser sind nicht auf eine constante Entfernung reducirt, sondern beziehen sich auf die unmittelbare Beobachtung.

1. **Uranus.**

Beobachter.	Datum.	Durch-messer.	Zahl d. Einstellungen.	Vergrösse-rung.	*p*
ENGELMANN	1864. Nov. 29	(3″52)	16	288 u. 576	0^0 u. 90^0
»	Nov. 30	(3.38)	8	288 576	0
ZÖLLNER	Nov. 30	(3.70)	8	288 576	0
ENGELMANN	Dec. 12	(3.48)	24	288 576	0, 45, 90
»	Dec. 29	(3.51)	24	288 576	0, 45, 90
BRUHNS	Dec. 29	(3.65)	24	288 576	0, 45, 90
ENGELMANN	1865. Jan. 7	4.14	12	288	0, 45, 90
»	Jan. 8	4.00	16	288 576	0, 45, 90
»	Jan. 9	4.05	12	288	0, 45, 90
»	Jan. 19	3.90	24	288 432	0, 45, 90
»	März 6	3.69	24	288 450	0, 45, 90

2. Neptun.

Beobachter.	Datum.	Durchmesser.	Zahl d. Einstellungen.	Vergrösserung.	p
ENGELMANN	1864. Nov. 30	(2.″11)	16	288 u. 576	0° u. 90°
»	Dec. 12	(2.20)	24	288 576	0, 45, 90
BRUHNS	Dec. 12	(2.49)	8	288 576	90
ENGELMANN	Dec. 15	(2.30)	8	288	0 u. 90
»	Dec. 29	(2.12)	8	288	45 90
»	1865. Jan. 3	2.87	24	288 576	0, 45, 90
»	Jan. 8	2.94	12	288	0, 45, 90
»	Jan. 17	2.51	12	288	0, 45, 90

60.

Mit Hülfe der folgenden »Tafel für die Extinction des Lichtes in der Atmosphäre«, welche zuerst aufgestellt zu haben, das grosse Verdienst SEIDEL's ist, war ich im Stande, alle in diesem Abschnitte mitgetheilten Beobachtungen in überraschend befriedigender Weise von den Einflüssen der atmosphärischen Absorption zu befreien.

Es ist dies die ältere Extinctionstafel, welche SEIDEL gleich in seiner ersten Abhandlung[1]) p. 43 mittheilt. Bezüglich der corrigirten Tafel, welche in seiner neuesten Arbeit[2]) p. 85 aufgeführt ist, bemerkt der Verfasser selbst Folgendes:

»Als das Hauptresultat in Betreff der Extinction, zu welchem die verschiedenen Wege der Untersuchung geleitet haben, muss angesehen werden, dass die Vergleichung der älteren Tafel mit tausend aus den Beobachtungen geschöpften Oertern keine Nöthigung hat hervortreten lassen, jene Tafel zu Gunsten einer neuen bei Seite zu legen. . . . . Ich werde daher bis auf weiteres fortfahren, die uncorrigirte Tabelle aus Abth. I zu gebrauchen, welche jedenfalls die mittlere

1) Untersuchungen über die gegenseitigen Helligkeiten der Fixsterne erster Grösse und über die Extinction des Lichtes in der Atmosphäre. München 1852.

2) Resultate photometrischer Messungen an 208 der vorzüglichsten Fixsterne. München 1862.

Durchsichtigkeit der Luft in den verschiedenen Höhen für München sehr nahe richtig darstellt.«

Diese Worte haben auch mich bestimmt, die ältere Extinctionstafel beizubehalten. Unter »z« sind die Zenithdistanzen, und unter »log Zen. Red.« die Logarithmen der entsprechenden Zenith-Reductionen aufgeführt, welche einfach nur zum Logarithmus der beobachteten Helligkeit eines Gestirns addirt zu werden brauchen, um die Helligkeit desselben im Zenith auszudrücken. Bis zu einer Zenithdistanz von 13⁰ ist der Einfluss der atmosphärischen Absorption nach den Beobachtungen Seidel's unmerklich. Es beginnt daher die folgende Tafel erst bei einer Zenithdistanz von 13⁰.

Tafel für die Extinction des Lichtes in der Atmosphäre.

z	log Zen.-Reduct.	z	log Zen.-Reduct.	z	log Zen.-Reduct.	Diff.	z	log Zen.-Reduct.	Diff.
13⁰	0.000	31⁰	0.008	49⁰	0.041		67⁰	0.160	
14	0.001	32	0.009	50	0.045		68	0.170	10
15	0.001	33	0.010	51	0.049	4	69	0.180	10
16	0.001	34	0.011	52	0.053	4	70	0.191	11
17	0.001	35	0.012	53	0.057	4	71	0.204	13
18	0.002	36	0.013	54	0.062	5	72	0.218	14
19	0.003	37	0.014	55	0.067		73	0.233	15
20	0.003	38	0.015	56	0.072	5	74	0.249	16
21	0.003	39	0.016	57	0.077	5	75	0.268	19
22	0.003	40	0.017	58	0.083	6	76	0.288	20
23	0.004	41	0.019	59	0.090	7	77	0.309	21
24	0.004	42	0.021	60	0.097	7	78	0.333	24
25	0.005	43	0.023	61	0.104	7	79	0.359	26
26	0.005	44	0.026	62	0.112	8	80	0.388	29
27	0.006	45	0.028	63	0.121	9	81	0.428	40
28	0.006	46	0.031	64	0.130	9	82	0.484	56
29	0.007	47	0.034	65	0.140	10	83	0.549	65
30	0.007	48	0.038	66	0.150	10	84	0.616	67
31	0.008	49	0.041	67	0.160	10	85	0.684	68
							86	0.754	70

61.

Um bei photometrischen Beobachtungen des Mondes, behufs der Ermittelung des Helligkeitsverhältnisses zwischen Sonne und Vollmond, die Reduction einer oberen, d. h. über die Quadratur hinausliegenden, Phase auf den Vollmond leicht bewerkstelligen zu können, habe ich die folgende Tafel nach meiner Formel (p. 68) berechnet. Es ist in der ersten Hälfte des gegenwärtigen Abschnittes zur Genüge gezeigt worden, dass sich das erste Glied dieser Formel bei passender Bestimmung der Constanten β, vollkommen befriedigend den Beobachtungen innerhalb der unvermeidlichen Fehler anschliesst, vorausgesetzt, dass man beim zunehmenden Monde nicht kleinere Phasen als $v = 130^0$, bei abnehmendem nicht kleinere als $v = 250$ in Rechnung zieht, wie dies die Intensitätscurve auf Taf. IV unmittelbar zur Anschauung bringt.

Die erste Columne der folgenden Tafel enthält den Phasenwinkel v, die zweite den Logarithmus des entsprechenden Factors, mit welchem die beobachtete Lichtstärke der betreffenden Phase, irgend eine beliebige Lichtquelle als Einheit genommen, multiplicirt werden muss, um die Lichtmenge des Vollmondes in Einheiten derselben Lichtquelle zu erhalten. Wie man sieht, ist hierbei die Reduction auf mittlere Entfernung des Mondes noch nicht mit einbegriffen; die hierzu erforderlichen Daten sind jedesmal aus den Ephemeriden zu entnehmen, wo sich dann mit Berücksichtigung des Gesetzes, nach welchem die Ausbreitung des Lichtes im Raume stattfindet, die erforderlichen Correctionen leicht anbringen lassen.

In der dritten Columne sind die Lichtmengen der den Werthen von v entsprechenden Phasen in Procenten der Lichtmenge des Vollmondes angegeben.

Da die Intensitätscurve auf Taf. IV innerhalb der angegebenen Grenzen zu beiden Seiten der Opposition symmetrisch ist, so hat man bei Werthen von v, welche grösser als 180^0 sind, die Ergänzungen zu 360^0 zu nehmen, um sich der folgenden Tafel auch bei Reduction der Phasen des abnehmenden Mondes zu bedienen.

Tafel zur Reduction der Lichtstärke der Mondphasen auf die Lichtstärke des Vollmondes.

(Für die Phasen des zunehmenden Mondes erst von $v = 130°$ anwendbar.)

v	Log der Reduction.	Diff.	Procente d. Vollmonds-helligkeit.	v	Log der Reduction.	Diff.	Procente d. Vollmonds-helligkeit.
110°	0.8415		14.4	136°	0.4102		38.9
111	0.8209	206	15.1	137	0.3972	130	40.1
112	0.8006	203	15.8	138	0.3844	128	41.3
113	0.7807	199	16.6	139	0.3718	126	42.5
114	0.7612	195	17.3	140	0.3593	125	43.7
115	0.7421	191	18.1	141	0.3471	122	45.0
116	0.7233	188	18.9	142	0.3351	120	46.2
117	0.7049	184	19.7	143	0.3233	118	47.5
118	0.6868	181	20.6	144	0.3117	116	48.8
119	0.6690	178	21.4	145	0.3003	114	50.1
120	0.6516	174	22.3	146	0.2890	113	51.4
121	0.6344	172	23.2	147	0.2780	110	52.7
122	0.6176	168	24.1	148	0.2671	109	54.0
123	0.6011	165	25.1	149	0.2564	107	55.4
124	0.5848	163	26.0	150	0.2458	106	56.8
125	0.5689	159	27.0	151	0.2355	103	58.2
126	0.5532	157	28.0	152	0.2263	102	59.5
127	0.5378	154	29.0	153	0.2152	101	60.9
128	0.5226	152	30.0	154	0.2054	98	62.3
129	0.5077	149	31.1	155	0.1957	97	63.7
130	0.4931	146	32.1	156	0.1861	96	65.2
131	0.4787	144	33.2	157	0.1767	94	66.6
132	0.4645	142	34.3	158	0.1675	92	68.0
133	0.4506	139	35.4	159	0.1584	91	69.4
134	0.4369	137	36.6	160	0.1495	89	70.9
135	0.4234	135	37.7	161	0.1407	88	72.3
136	0.4102	132	38.9	162	0.1320	87	73.8

v	Log der Reduction.		Procente d. Vollmondshelligkeit.	v	Log der Reduction.		Procente d. Vollmondshelligkeit.
162°	0.1320		73.8	171°	0.0606		87.0
163	0.1235	85	75.3	172	0.0534	72	88.4
164	0.1152	83	76.7	173	0.0463	71	89.9
165	0.1070	82	78.2	174	0.0393	70	91.4
166	0.0989	81	79.6	175	0.0324	69	92.8
167	0.0910	79	81.1	176	0.0257	67	94.2
168	0.0832	78	82.6	177	0.0191	66	95.7
169	0.0755	77	84.1	178	0.0126	65	97.1
170	0.0680	75	85.5	179	0.0062	64	98.6
171	0.0606	74	87.0	180	0.0000	62	100.0

Schliesslich gebe ich hier eine Tafel, mit deren Hülfe man aus jedem beobachteten Helligkeitsverhältniss des Saturn zu einem beliebigen Fixsterne unmittelbar das Intensitätsverhältniss finden kann, welches die Saturnskugel bei Abwesenheit des Ringes zu jenem Sterne zeigen würde.

Ich habe diese Tafel nach der oben p. 140 von mir gegebenen Formel berechnet, welche, wie gezeigt, sowohl durch SEIDEL's als auch durch meine Beobachtungen in der befriedigendsten Weise bestätigt wird.

Mit Rücksicht auf die dort für $\log r$ und $\log r'$ mitgetheilten Werthe, erhält man folgenden Ausdruck für die Zahl n, durch welche man die beobachtete Lichtstärke des Saturn zu dividiren hat, um die Lichtstärke der Saturnskugel allein zu finden:

$$n = 1 + 3.2642 \sin l - 0.6366 (\varphi' - \varphi + \sin\varphi \cos\varphi - \sin\varphi' \cos\varphi')$$

Hierbei sind die Werthe von φ und φ' durch folgende Gleichungen bestimmt:

$$\cos\varphi = 2.4019 \sin l$$
$$\cos\varphi' = 1.5827 \sin l$$

Der Winkel l, welcher den Erhebungswinkel der Erde über der Ringebene, vom Mittelpunct des Saturn aus gesehen, bedeutet, ist

im Berliner Jahrbuch und im Nautical Almanac angegeben. In der folgenden Tafel sind nicht, wie bei den oben mitgetheilten Reductionen der Saturnsbeobachtungen (Tab. XII und XIII p. 144 und 146), die Logarithmen von n, sondern diejenigen von $\frac{1}{n}$ angegeben, so dass man die aufgeführten Reductionswerthe zu den Logarithmen der beobachteten Helligkeiten zu addiren und nicht, wie bei den früheren Reductionen, zu subtrahiren hat.

Da die Neigung der Ebene des Saturnsringes zur Ebene der Erdbahn 28° 10′ 34″ beträgt, so ist die folgende Tafel für alle vorkommenden Lagen des Ringes mehr als ausreichend.

Tafel zur Reduction der Lichtstärke des Saturn auf die Epoche des verschwundenen Ringes.

l	Log d. Reduct.	Diff.	l	Log d. Reduct.	Diff.	l	Log d. Reduct.	Diff.
0° 0′	0.0000		2° 0′	9.9676		4° 0′	9.9370	
10	9.9972	−28	10	9.9650	−26	10	9.9346	−24
20	9.9944	28	20	9.9624	26	20	9.9322	24
30	9.9916	28	30	9.9598	26	30	9.9298	24
40	9.9889	27	40	9.9573	25	40	9.9274	24
50	9.9862	27	50	9.9547	26	50	9.9250	24
1 0	9.9835	27	3 0	9.9521	26	5 0	9.9226	24
10	9.9809	26	10	9.9495	26	10	9.9203	23
20	9.9782	27	20	9.9470	25	20	9.9179	24
30	9.9755	27	30	9.9445	25	30	9.9155	24
40	9.9728	27	40	9.9420	25	40	9.9131	24
50	9.9702	26	50	9.9395	25	50	9.9107	24
2 0	9.9676	26	4 0	9.9370	25	6 0	9.9084	23

l	Log d. Reduct.	Diff.	l	Log d. Reduct.	Diff.	l	Log d. Reduct.	Diff.
6° 0′	9.9084		11° 0′	9.8419		16° 0′	9.7798	
10	9.9061	−23	10	9.8397	−22	10	9.7777	−21
20	9.9038	23	20	9.8376	21	20	9.7757	20
30	9.9015	23	30	9.8355	21	30	9.7736	21
40	9.8992	23	40	9.8334	21	40	9.7715	21
50	9.8969	23	50	9.8313	21	50	9.7695	20
7 0	9.8946	23	12 0	9.8292	21	17 0	9.7675	20
10	9.8923	23	10	9.8271	21	10	9.7654	21
20	9.8900	23	20	9.8250	21	20	9.7634	20
30	9.8877	23	30	9.8229	21	30	9.7614	20
40	9.8854	23	40	9.8209	20	40	9.7594	20
50	9.8832	22	50	9.8188	21	50	9.7574	20
8 0	9.8810	22	13 0	9.8167	21	18 0	9.7553	21
10	9.8788	22	10	9.8146	21	10	9.7532	21
20	9.8766	22	20	9.8125	21	20	9.7512	20
30	9.8744	22	30	9.8105	20	30	9.7492	20
40	8.8722	22	40	9.8084	21	40	9.7471	21
50	9.8700	22	50	9.8063	21	50	9.7451	20
9 0	9.8678	22	14 0	9.8043	20	19 0	9.7431	20
10	9.8656	22	10	9.8023	20	10	9.7410	20
20	9.8634	22	20	9.8002	21	20	9.7379	21
30	9.8612	22	30	9.7981	21	30	9.7369	20
40	9.8590	22	40	9.7961	20	40	9.7348	21
50	9.8568	22	50	9.7940	20	50	9.7327	21
10 0	9.8546	22	15 0	9.7920	20	20 0	9.7307	20
10	9.8524	22	10	9.7900	20	10	9.7286	21
20	9.8503	21	20	9.7880	20	20	9.7265	21
30	9.8482	21	30	9.7859	21	30	9.7245	20
40	9.8461	21	40	9.7839	20	40	9.7224	21
50	9.8440	21	50	9.7819	20	50	9.7204	20
11 0	9.8419	21	16 0	9.7798	21	21 0	9.7183	21

l	Log d. Reduct.	Diff.	l	Log d. Reduct.	Diff.	l	Log d. Reduct.	Diff.
21° 0′	9.7183		24° 0′	9.6792		27° 0′	9.6364	
10	9.7162	−21	10	9.6768	−24	10	9.6341	−23
20	9.7141	21	20	9.6744	24	20	9.6318	23
30	9.7120	21	30	9.6721	23	30	9.6296	22
40	9.7099	21	40	9.6698	23	40	9.6274	22
50	9.7078	21	50	9.6674	24	50	9.6252	22
22 0	9.7058	21	25 0	9.6650	24	28 0	9.6230	22
10	9.7037	21	10	9.6526	24	10	9.6208	22
20	9.7016	21	20	9.6502	24	20	9.6187	21
30	9.6995	21	30	9.6576	24	30	9.6166	21
40	9.6974	21	40	9.6552	24	40	9.6145	21
50	9.6952	22	50	9.6528	24	50	9.6124	21
23 0	9.6930	22	26 0	9.6504	24	29 0	9.6103	21
10	9.6907	23	10	9.6480	24	10	9.6082	21
20	9.6884	23	20	9.6456	24	20	9.6061	21
30	9.6861	23	30	9.6433	23	30	9.6041	20
40	9.6838	23	40	9.6410	23	40	9.6021	20
50	9.6815	23	50	9.6387	23	50	9.6001	20
24 0	9.6792	23	27 0	9.6364	23	30 0	9.5981	20

IV.

ÜBER

DIE PHYSISCHE BESCHAFFENHEIT

DER

HIMMELSKÖRPER.

„*Effectuum naturalium ejusdem generis eaedem assignandae sunt causae quatenus fieri potest.* —

Uti respirationis in homine et in bestia; descensus lapidum in Europa et in America; lucis in igne culinari et in sole; reflexionis lucis in terra et in planetis.“

Newton.
Principia phil. nat. math. Lib. III. p. 2.

62.

Während in dem vorhergehenden Theile dieser Untersuchungen mit Hülfe der beschriebenen Methoden im Wesentlichen nur gewisse Thatsachen der Beobachtung festgestellt worden sind, soll nun in dem hier folgenden und letzten Theile der Versuch gemacht werden, sowohl die gewonnenen Resultate als auch die übrigen, ausser der Ortsveränderung, an den Himmelskörpern beobachteten Erscheinungen aus einer allgemeinen Hypothese über die physische Beschaffenheit der Weltkörper zu erklären.

Bevor dies geschieht, sehe ich mich jedoch genöthigt, noch einige Bemerkungen vorauszuschicken, theils um die Berechtigung derartiger Betrachtungen einer wissenschaftlichen Richtung gegenüber zu vertheidigen, welche im Studium der »Specialitäten« den Sinn für allgemeinere Gesichtspuncte verloren zu haben scheint, theils um die Grenzen, innerhalb welcher die Lösung der hier sich darbietenden Probleme möglich ist, näher zu bezeichnen und festzustellen.

Bekanntlich heisst in den exacten Wissenschaften, eine Erscheinung erklären einfach nur, dieselbe auf bereits bekannte Erscheinungen zurückführen, oder mit andern Worten, eine bisher unerklärte Erscheinung aus solchen Ursachen begreiflich machen, welche uns bereits zur Erklärung anderer Erscheinungen gedient haben.

So sagt man, die Bewegungen der Planeten seien erklärt, insofern es gelungen ist, als Ursache ihrer Bewegung eine Kraft nachzuweisen, welche einer grossen Anzahl uns sehr bekannter Erscheinungen auf der Erde zu Grunde liegt, z. B. dem Falle der Körper, den Oscillationen eines Pendels u. dgl. m. Freilich bleibt uns hierbei die Natur und das innere Wesen jener Ursache oder Kraft,

welche alle diese mannichfaltigen Erscheinungen bewirkt, noch ebenso unverständlich und dunkel wie vorher. Indessen fallen die hierauf bezüglichen Betrachtungen nicht mehr in das Bereich der Naturforschung, sondern in das der Metaphysik, von deren Erklärungen, der Natur des Gegenstandes gemäss, hier gänzlich abgesehen werden soll.

Die Naturwissenschaft hat es demnach lediglich nur mit der Zurückführung der Mannichfaltigkeit von Erscheinungen auf solche Ursachen oder Kräfte zu thun, welche nach einem unveränderlichen Gesetz wirken und daher zu jeder Zeit unter denselben Verhältnissen dieselben Wirkungen hervorbringen. — Will man also eine Erscheinung erklären, resp. begreifen, so muss man offenbar von der Voraussetzung ihrer Begreiflichkeit ausgehen, d. h. man muss zunächst die Annahme machen, dass jene Erscheinung nur durch solche Ursachen bewirkt werde, welche man als den gesetzmässigen Ausdruck bereits bekannter Erscheinungen festgestellt hat. — Wenden wir nun diesen Satz auf die im Folgenden zur Sprache kommende Klasse von Erscheinungen an, so lautet derselbe folgendermassen:

> Bei den Untersuchungen über die physische Beschaffenheit der Himmelskörper dürfen zur Erklärung der beobachteten Phänomene nur solche Kräfte und Erscheinungen vorausgesetzt werden, deren Analogien man auch auf der Erde zu beobachten und zu erforschen Gelegenheit hat.

Wie wenig dieser einfache und hier sich gleichsam von selbst ergebende Satz bisher beachtet worden ist, zeigt am deutlichsten die zur Erklärung der Sonnenflecken mit ihren Penumbren ersonnene Photosphären-Hypothese, nach welcher die Sonne aus einem dunklen Kern bestehen soll, der von einer selbständig Licht und Wärme spendenden Hülle (Photosphäre) umgeben ist.

Wir kennen nun aber auf der Erde nicht einen einzigen Körper, welcher die hier von der Photosphäre vorausgesetzten Eigenschaften besässe, sondern sind vielmehr im Stande, nach den uns bis jetzt bekannten Eigenschaften der Materie die physikalische Unmöglichkeit eines solchen Körpers zu beweisen.

Man hätte daher auch ohne die spectralanalytischen Untersuchungen Kirchhoff's und Bunsen's, durch welche unsere Kennt-

niss von der physichen Beschaffenheit der Sonne vor Kurzem in so unerwarteter Weise bereichert worden ist, für die Licht- und Wärmestrahlung der Sonne nur solche Ursachen voraussetzen dürfen, welche analogen Erscheinungen bei irdischen Körpern zu Grunde liegen. Selbst wenn man alsdann nicht im Stande gewesen wäre, die wenigen an den Sonnenflecken gesetzmässig beobachteten Erscheinungen zu erklären, so hätte man hierauf weit eher aus Unkenntniss der sonstigen physikalischen Verhältnisse auf der Sonnenoberfläche verzichten müssen, als sich zu einer Hypothese verleiten lassen, die von vornherein jedes physikalische Verständniss gerade der wesentlichsten Erscheinungen, der Licht- und Wärmeentwicklung, auf der Sonne ausschliesst.

Kirchhoff spricht dieselbe Behauptung in seinen spectralanalytischen Untersuchungen folgendermassen aus: »Die Hypothese, welche man über die Beschaffenheit der Sonne aufgestellt hat, um diese Erklärung von den Sonnenflecken zu geben, scheint mir aber in solchem Grade sicheren physikalischen Erkenntnissen zu widersprechen, dass sie selbst dann verworfen werden müsste, wenn man nicht im Stande gewesen wäre, die Erscheinungen der Sonnenflecken auf eine andre Weise auch nur einigermassen begreiflich zu machen«[1].

Die gewichtigen Worte Newton's, welche ich nicht umhin konnte, diesem Theile als Motto voranzusetzen, lassen die Richtigkeit dieser Behauptung Kirchhoff's als eine nothwendige Consequenz eines der obersten Principien naturwissenschaftlicher Inductionen erkennen. Indem Newton der Licht- und Wärmeentwickelung der Sonne dieselbe Ursache wie dem trivialen Küchenfeuer auf dem Herde vindicirt, beabsichtigt er offenbar gerade durch das Drastische dieses Vergleiches die Allgemeinheit und Ausnahmslosigkeit deutlich machen, in welcher er seine *regula philosophandi* auf alle Erscheinungen der sichtbaren Welt angewandt wissen will. Denn Newton hätte ebenso treffend an die Licht- und Wärmeausstrahlung irgend einer glühenden Masse erinnern können. Indessen ist dies eine verhältnissmässig viel seltener zu beobachtende Erscheinung und hätte

---

1) G. Kirchhoff, Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente. p. 85. Abh. d. Berliner Academie 1861.

auch bei Weitem nicht in so nachdrücklicher Weise wie der gebrauchte Vergleich den Sinn und die Bedeutung jenes Princips erläutern können.

Wir haben also durch die vorhergehenden Betrachtungen eine bestimmte und feste Basis gewonnen, welche allen Speculationen über die physische Beschaffenheit der Weltkörper zu Grunde liegen muss, wofern sie Anspruch auf wissenschaftliche Bedeutung machen sollen. Gleichzeitig wird durch jenes ebenso einfache als natürliche Princip der hypothesenbildenden Phantasie eine Fessel auferlegt, welche sie für immer an den Boden irdischer Erscheinungen kettet und sie verhindert, die nüchterne Betrachtung naturwissenschaftlicher Untersuchungen durch ihre Bilder zu verwirren und zu beeinträchtigen. Es ist demnach die Möglichkeit wissenschaftlicher Untersuchungen gegeben, welche sich auf die physische Beschaffenheit von Körpern beziehen, deren Dasein uns, im Gegensatze zu den Körpern unserer Erde, lediglich durch gewisse Wirkungen aus der Ferne bekannt ist.

Es wird sich bei diesen Untersuchungen im Wesentlichen darum handeln, diese Fernewirkungen mit Hülfe bestimmter Methoden näher zu analysiren und die Resultate dieser Analyse mit denjenigen analoger Fernewirkungen bei irdischen Körpern zu vergleichen, deren Beschaffenheit uns auch noch in anderer Weise durch Berührungswirkungen bekannt ist. Gerade das ist es, was der spectralanalytischen Methode eine so grosse Zukunft verspricht, dass sie eine Methode ist, welche sich zur Ermittelung der chemischen Beschaffenheit der Körper des von ihnen ausgestrahlten Lichtes als einer Fernewirkung bedient, während die ganze bisherige Chemie für denselben Zweck fast ausschliesslich auf die Molecularwirkungen bei Berührung und Mischung der Körper angewiesen war. — Bei allen diesen Untersuchungen muss es jedoch, dem oben aufgestellten Satze gemäss, gestattet sein, von der Gleichheit der Ursachen auf die Gleichheit der Wirkungen zu schliessen und daher gewisse Eigenschaften der Materie, die wir ohne Ausnahme an allen irdischen Körpern beobachten, auch bei den entferntesten Himmelskörpern vorauszusetzten.

NEWTON spricht die Nothwendigkeit dieser Voraussetzung in seiner dritten regula philosophandi[1] mit folgenden Worten aus:

»*Qualitates corporum, quae intendi et remitti nequeunt, quaeque corporibus omnibus competunt in quibus experimenta instituere licet, pro qualitatibus corporum universorum habendae sunt.*«

Mit Hülfe dieses Satzes, welcher noch durch Beispiele erläutert wird, weist NEWTON die Berechtigung nach, als Ursache der kosmischen Bewegungen dieselbe Kraft anzunehmen, deren Wirkungen man als Schwere auf der Erde bei einer grossen Anzahl von Erscheinungen zu beobachten Gelegenheit hat.

Indessen besitzen ausser der Bewegung die uns bekannten Weltkörper auch noch die Eigenschaft Licht auszustrahlen, sei es eigenes oder erborgtes. Sollten sich nun bei näherer Untersuchung dieses Lichtes gewisse Modificationen desselben ergeben, welche bei Beobachtung irdischer Lichtquellen jedesmal unter dem Einflusse bestimmter Eigenschaften des lichtausstrahlenden Körpers auftreten, so verlangt die dritte NEWTON'sche Regel, dass man diese lichtmodificirende Eigenschaft irdischer Körper in derselben Weise auch bei himmlischen Körpern voraussetze und demgemäss den letzteren eine analoge physische Beschaffenheit wie den ersteren zuschreibe. Allgemeiner ausgedrückt, heisst dies, man muss bei allen Untersuchungen über die physische Beschaffenheit der Himmelskörper von der Annahme ausgehen, dass die allgemeinen und wesentlichen Eigenschaften der Materie im unendlichen Raume überall dieselben seien.

Man hat sich bisher gegen eine solche Annahme weniger bewusst als instinctiv gesträubt. Es erklärt sich dies psychologisch aus dem Umstande, dass die Vorstellung des räumlich Getrennten erfahrungsmässig in den meisten Fällen mit der des qualitativ Verschiedenen associert ist, ohne dass jedoch die Nothwendigkeit dieser Beziehung *a priori* beweisbar wäre.

---

1) NEWTON, Principia phil. nat. math. Lib. III. p. 3.

63.

Gehen wir nun zu einer näheren Betrachtung derjenigen Fernewirkungen über, durch welche wir, abgesehen von der allgemeinen Gravitation, mit den Körpern ausserhalb unseres Planeten in Verbindung stehen, so leuchtet ein, dass es hier keine weitere Vermittelung als diejenige durch das Licht giebt, wenn man von der in neuerer Zeit zwischen der Sonne, dem Monde und der Erde entdeckten magnetischen Beziehung absieht[1]). Wir sind demnach bei der Erforschung der physischen Beschaffenheit der Weltkörper lediglich auf eine genauere Untersuchung des von ihnen ausgesandten Lichtes angewiesen und je grösser hierbei die Anzahl der besonderen Qualitäten ist, welche das Licht, nach der Natur und dem Zustande des lichtausstrahlenden Körpers zeigt, desto mehr Anhaltspuncte und Beobachtungsdata werden wir sammeln können, um hieraus auf die Eigenschaften des betreffenden Himmelskörpers zu schliessen.

Die uns bis jetzt an Gestirnen bekannten Lichtquellen theilen sich in directe und indirecte, oder in solche, welche mit eigenem oder mit erborgtem Lichte leuchten. Nun giebt es gewisse Eigenschaften des Lichtes, welche unabhängig und andere, welche abhängig von dieser besonderen Natur der Lichtquellen sind. Zu den ersteren gehört zuerst die Fähigkeit des Lichtes nach Massgabe seiner Brechbarkeit drei wesentlich verschiedene Wirkungen hervorzubringen:

1) eine optische oder physiologische auf die Netzhaut des Auges,
2) eine chemische auf die Haloïdsalze des Silbers,
3) eine thermische oder mechanische auf das Thermoskop.

Zu den von der Natur der Lichtquelle abhängigen Eigenschaften

---

1) H. Lloyd, On the direct magnetic influence of a distant luminary upon the diurnal variations of the magnetic force at the earths surface. Phil. Mag. (4) XV. 192—196.

Brayley, On the magnetic action of the sun and its connexion with the spots, the earths magnetism and the polar lights. Athenäum 1859. 1. p. 455.

J. A. Broun, On the lunar diurnal variation of magnetic declination at the magnetic equator. Proc. of Roy. Soc. X. 475—484.

Vergl. ausserdem die Abhhandlungen von Lamont, Airy Sabine u. A.

gehört dagegen im Allgemeinen die Fähigkeit des Lichtes, im prismatischen Spectrum gewisse dunkle Linien zu zeigen, was vorzugsweise den directen Lichtquellen zukommt, während andrerseits, die Fähigkeit den Polarisationszustand des Lichtes zu verändern im Allgemeinen nur eine Eigenschaft der mit indirectem oder erborgtem Lichte strahlenden Körper ist.

Diese Wirkungen des Lichtes sind es nun, auf deren Erforschung wir bei unseren Untersuchungen über die physiche Beschaffenheit der Weltkörper angewiesen sind. Auf den ersten Blick könnte es scheinen, als ob gerade die entferntesten Körper, welche mit eigenem Lichte leuchten, bezüglich der bei ihnen anwendbaren Spectralanalyse, gegen die uns räumlich verhältnissmäsig so nahe gelegenen Körper unseres Planetensystems bevorzugt wären. Indessen schwindet bei näherer Betrachtung dieser Unterschied zwischen selbstleuchtenden und beleuchteten Himmelskörpern sehr beträchtlich und man gelangt allmälig zu der Ueberzeugung, dass es sich hierbei lediglich nur um die Anwendung einer andern Untersuchungsmethode handelt, deren Principien jetzt in ihren allgemeinsten Umrissen auseinandergesetzt werden sollen.

Das Wesentliche dieser Methode besteht in der Bestimmung des Verhältnisses der auf einen Körper auffallenden zu der von ihm reflectirten Strahlenmenge. Dieses Verhältniss ist, insofern es sich auf die optischen oder physiologisch wirksamen Strahlen des Lichtes bezieht, von LAMBERT zuerst mit dem Namen »Albedo« belegt worden[1]. Man kann aber diesen Begriff mit Rücksicht auf die beiden andern der oben angeführten Wirkungen des Lichtes auch in erweitertem Sinne fassen und daher ausser von einer optischen auch noch von einer thermischen und chemischen Albedo eines Körpers reden.

Es ist durch zahlreiche Untersuchungen festsgestellt, dass sowohl das Reflexionsvermögen ein und desselben Körpers für optische, chemische und thermische Strahlen ein sehr verschiedenes ist, als auch, dass die hier auftretenden bedeutenden Unterschiede wesentlich von der physikalischen und chemischen Natur der reflectirenden Oberfläche abhängen. Erwägt man nun, dass im täglichen Leben

1) LAMBERT Photometria §. 704 ff.

die Farbe und Intensität der für unser Auge wahrnehmbar reflectirten Strahlen fast das einzige Beobachtungsmaterial liefern, aus dem wir durch tausendfach wiederholte und hierdurch angewöhnte Ideenassociationen auf die physische Beschaffenheit der uns umgebenden Körper mit überraschender Sicherheit schliessen, so liegt der Gedanke nahe, dasselbe Verfahren, welches uns im täglichen Leben unbewusst die Beschaffenheit der in der Nähe befindlichen irdischen Körper erschliesst, in der Wissenschaft bewusst und unterstützt durch instrumentale Hülfsmittel auf die in grosser Ferne befindlichen Himmelskörper anzuwenden.

Indem wir in der oben angedeuteten Weise den Begriff der Albedo eines Körpers erweitern, verallgemeinern wir offenbar gleichzeitig auch den der Farbe. Wie die letztere im gewöhnlichen Sinne nur die besondere Art und Weise ausdrückt, in welcher ein Lichtstrahl nach Massgabe seiner Brechbarkeit verschieden auf einen Nervenapparat unseres Körpers wirkt, so umfasst der in der obigen Weise verallgemeinerte Begriff der Farbe die uns bis jetzt erfahrungsmässig bekannten und von der Brechbarkeit eines Lichtstrahls abhängigen Wirkungen auf die Materie überhaupt. Ich will diesen erweiterten Begriff der Farbe eines Körpers der Kürze halber mit dem Namen »absolute Farbe« bezeichnen. Dieselbe wird sich nach dem Vorhergehenden ausdrücken lassen durch drei Zahlen, von denen jede stets kleiner als Eins ist und das Reflexionsvermögen des betreffenden Körpers für die drei genannten Strahlengattungen bezeichnet. Ein »absolut weisser resp. grauer« Körper würde demgemäss ein solcher sein, bei dem jene drei Zahlen gleich wären, so wie durch die Grösse dieser Zahlenwerthe conventionell die Grenze festgesetzt werden könnte, über welche hinaus man einen Körper »absolut weiss« und unter welcher man ihn »absolut grau« nennen will.

Angenommen nun, man habe für eine sehr grosse Anzahl, physikalisch und chemisch bekannter Stoffe in dem angedeuteten Sinne die absolute Farbe für auffallendes Sonnenlicht bestimmt, so wird man nach den bis jetzt im Gebiete der strahlenden Wärme und der Photographie gemachten Erfahrungen im Allgemeinen zu der Annahme berechtigt sein, dass die absolute Farbe eines Körpers abhängig von der physikalischen und chemischen Beschaffenheit

seiner Oberfläche sei oder dass zwei physikalisch und chemisch verschiedene Körper auch eine verschiedene absolute Farbe haben müssen. Ob diese Annahme in aller Strenge und ausnahmslos richtig sei, darüber kann selbstverständlich nur erst ein grosses und sorgfältig gesichtetes Beobachtungsmaterial entscheiden, so wie ein genaueres Studium der Gesetze, nach denen sich die absolute Farbe eines aus einem Gemenge bestehenden Körpers aus der absoluten Farbe seiner Bestandtheile bestimmen lässt.

Werden nun dieselben Untersuchungen auf die von der Sonne beleuchteten Himmelskörper ausgedehnt und finden sich hierbei wesentliche und characteristische Analogien mit irdischen, in derselben Weise untersuchten Körpern, so sind wir nach den oben angeführten NEWTON'schen Principien berechtigt, aus diesen Analogien auch auf eine analoge physische Beschaffenheit jener Himmelskörper zu schliessen, ebenso, wie nur unter einer ähnlichen Voraussetzung mit Hülfe der Spectralanalyse aus der Uebereinstimmung gewisser Linien bei irdischen und himmlischen Lichtquellen, die stoffliche Beschaffenheit der letzteren ermittelt werden kann.

Dass wir bei den beleuchteten Himmelskörpern, welche uns wegen ihrer Nähe auch die photometrische Beobachtung von Phasen gestatten, noch weitere Beobachtungsdata zur Beurtheilung ihrer sonstigen Beschaffenheit erhalten können, dafür liefern, wie ich glaube, die in dieser Schrift mitgetheilten Untersuchungen über die relative Lichtstärke der Mondphasen gerade den besten Beweis. Denn man hätte lediglich auf photometrischem Wege die Existenz von Bergen und die Abwesenheit einer merklich lichtreflectirenden Atmosphäre auf dem Monde nachweisen können, selbst wenn derselbe so weit von der Erde entfernt gewesen wäre, dass er auch in den stärksten Fernröhren nur als leuchtender Punkt hätte erscheinen müssen. Ebenso wird die Anwesenheit einer Atmosphäre oder partiell spiegelnder Substanzen in den Helligkeitsänderungen der Phasen eines Planeten ihren bestimmten und gesetzmässigen Ausdruck finden, so dass man aus der besonderen Beschaffenheit dieser Aenderungen mit grösserer Sicherheit die physikalische Eigenthümlichkeit der Planetenoberflächen wird ermitteln können als dies bisher auf dem Wege directer Beobachtung möglich gewesen ist. Aber selbst bei Fixsternen kann man ausser durch die Spectralanalyse auch

durch genauere photometrische Beobachtung der veränderlichen Sterne sowie durch colorimetrische Bestimmungen noch andere Anhaltspunkte und Data zur Ermittelung der physischen Beschaffenheit jener Körper erhalten, indem man als Ursachen der beobachteten Veränderungen von Intensität und Farbe nach den NEWTON'schen Principien nur solche voraussetzen darf, welche analoge Erscheinungen auf oder an dem von uns bewohnten Planeten hervorgerufen haben. Je mehr es auf solchem Wege gelingt, die Gesammtheit aller in diesem Gebiete beobachteten Erscheinungen aus dem zu Grunde gelegten Principe von der Gleichheit der allgemeinen Eigenschaften der Materie im Weltraume zu erklären und unter einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkt befriedigend zu vereinigen, desto grösser wird auch die Wahrscheinlichkeit der zu Grunde gelegten Hypothese werden.

64.

Unser wissenschaftliches Bedürfniss wird indessen durch die blosse Ermittelung und Aufzählung einer Anzahl von Eigenschaften eines Naturkörpers noch nicht befriedigt. Man forscht weiter nach den Veränderungen, welche jener Körper in der Vergangenheit erfahren hat, und welche er in der Zukunft noch erleiden wird. Gelingt es den ersten Theil dieser Frage aus dem Zusammenhange einer grösseren Anzahl von Erscheinungen, innerhalb gewisser Grenzen, zu beantworten so wird die hierdurch erlangte Hypothese von der Genesis eines Körpers auch dazu dienen können, den zweiten Theil der Frage, nach den künftigen Veränderungen desselben, in ihren Hauptzügen zu beantworten.

Dieser Frage kann sich offenbar derjenige Theil der Astronomie, welcher sich in Zukunft mit der physischen Beschaffenheit der Weltkörper zu beschäftigen hat, nicht entschlagen und man begreift, wie hierdurch die Kosmogonie unseres Planetensystems für die nächste Entwicklungsphase der Astronomie eine Bedeutung erlangen muss, welche ihr bei den bisherigen Bestrebungen der Astronomen nur in sehr untergeordneter Weise beigelegt geworden ist.

Da ich in dem gegenwärtigen Theile meiner Untersuchungen den Versuch machen will, die wahrscheinlichsten Annahmen über die

physische Beschaffenheit der Körper unseres Planetensystems lediglich als Consequenzen einer Hypothese darzulegen, als deren Urheber mit Unrecht fast ausschliesslich LAPLACE genannt wird, so halte ich mich zunächst für verpflichtet den Beweis zu liefern, dass der Begründer jener Hypothese nicht LAPLACE sondern KANT, der Philosoph Deutschlands, gewesen ist. Es ist mir sehr wohl bekannt, dass die angedeutete Hypothese auch häufig den Namen von KANT und LAPLACE trägt, und dass von einigen astronomischen Schriftstellern die Verdienste KANT's, obschon in viel zu untergeordneter Weise, gewürdigt werden.

So findet sich z. B. in einem weiterverbreiteten Werke LITTROW's, nach einer Uebersicht der früheren Kosmogonien von LEIBNITZ, WHISTON, BURNETT, BUFFON, FRANKLIN u. A. auch unter der Ueberschrift »LAPLACE's Hypothese« eine sehr ausführliche und eingehende Darstellung der jetzt allgemein angenommenen Entwicklungsgeschichte unseres Planetensystems.

Nachdem diese Hypothese als schön und sinnreich gepriesen ist, und noch einige unbedeutende Umstände angeführt worden sind, welche vielleicht Zweifel gegen dieselbe zu begründen im Stande wären, schliesst LITTROW seine Betrachtungen mit folgenden Worten:

»Endlich wollen wir noch bemerken, dass diese Hypothese mit allen ihren Hauptmomenten schon früher von einem Manne aufgestellt worden ist auf den unser deutsches Vaterland stolz zu sein Ursache hat. KANT hat in seiner Schrift:

»Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, Königsberg 1755« aus denselben drei allgemeinen Erscheinungen unseres Planetensystems dieselben Folgerungen abgeleitet und auf eine seinem Geiste würdige Art ausgeführt, so dass die Nachwelt diese Entdeckung, wenn sie sich bewährt, mit Recht nach seinem Namen nennen wird«[1]).

So sehr ich mit der in diesen Worten ausgesprochenen Ansicht einverstanden bin, so unverständlich ist mir doch die Logik, nach welcher hier der Bedingungssatz »wenn sie sich bewährt« eingeschoben ist.

---

1) LITTROW, Wunder des Himmels. 4. Aufl. p. 660.

In der That scheint dieser Satz den Commentar zu dem sonst räthselhaften Umstande zu bilden, dass trotz der in obigen Worten so warm ausgesprochenen Anerkennung KANT's doch kurz vorher auf vollen vier Seiten die besagte Kosmogonie unter der Ueberschrift »LAPLACE's Hypothese« in aller Breite und Ausführlichkeit erörtert und als scharfsinnig gelobt wird.

Am besten glaube ich mich indessen gegen etwaige Vorwürfe, hier nur Bekanntes zu wiederholen, sicher stellen zu können, wenn ich als Beweis, wie wenig verbreitet und anerkannt die Verdienste KANT's um die Entwickelungsgeschichte unseres Planetensystems sind, die Worte eines der verdientesten Physiker der Gegenwart anführe, die derselbe in einer erst vor vier Jahren publicirten und epochemachenden Abhandlung in folgender Weise ausspricht:

> »Diese Vorstellung von der Beschaffenheit der Sonne ist in Uebereinstimmung mit der von LAPLACE begründeten Hypothese über die Bildung unseres Planetensystems.«

Es sei hierbei bemerkt, dass die oben erwähnte Schrift KANT's volle 41 Jahre früher als die erste Ausgabe von LAPLACE's »Exposition du système du monde« erschienen ist, in welcher die nach ihm benannte Hypothese, wie man sehen wird, in so kurzen und unvollständigen Umrissen enthalten ist, dass es an manchen Stellen kaum möglich ist, ihre Identität mit der jetzt allgemein angenommenen Hypothese wieder zu erkennen.

65.

Die in Folgendem angeführten Citate beziehen sich auf die zweite Auflage des LAPLACE'schen Werkes, welche im Jahre 1799 erschien und deren vollständiger Titel folgendermassen lautet:

> »Exposition du système du monde par P. S. LAPLACE, Membre de l'Institut National de France, et du Bureau des Longitudes. Seconde édition, revue et augmentée par l'auteur. Paris chez J. B. M. Duprat, an VII.«

Die erste Auflage erschien im Jahre 1796 und unterscheidet sich bezüglich der hier zur Sprache kommenden Hypothese von der citirten lediglich durch den Mangel von sechs Zeilen, welche sich auf das Zodiacallicht beziehen und weiter unten mitgetheilt sind.

Nachdem Laplace die bekannten Eigenschaften unseres Planetensystems, welche sich nicht als eine nothwendige Folge des Gravitationsprincips darstellen lassen, besprochen und die mathematische Wahrscheinlichkeit berechnet hat, dass jene Eigenschaften nicht das Resultat eines blossen Zufalls sein können, beginnt er die Auseinandersetzung seiner Hypothese auf p. 343 mit folgenden Worten.

»Ainsi l'on a, pour remonter à la cause des mouvemens primitifs du système planétaire, les cinq phénomènes suivans: 1°. les mouvemens des planetes dans le mêmes sens, et à-peu-près dans un même plan; 2°. les mouvemens des satellites dans le même sens que ceux des planètes; 3°. les mouvemens de rotation de ces différens corps et du soleil, dans le même sens que leurs mouvemens de projection, et dans des plans peu différens. 4°. le peu d'excentricité des orbes des planètes et des satellites; 5°. enfin, la grande excentricité des orbes des comètes, quoique leurs inclinaisons aient été abandonnées au hasard.«

Hierauf wird die Buffon'sche Kosmogonie besprochen und von Laplace mit folgenden Worten eingeleitet (p. 344):

»Buffon est le seul que je connaisse, qui, depuis la découverte du vrai système du monde, ait essayé de remonter à l'origine des planètes et des satellites.«

Nachdem diese Hypothese widerlegt und die Kritik derselben auf p. 345 mit den Worten: »cette hypothèse est donc très-éloignée de satisfaire aux phénomènes précédens« beschlossen ist, beginnt Laplace die Auseinandersetzung der nach ihm benannten Hypothese wie folgt:

»Voyons s'il est possible de s'élever à leur véritable cause. — Quelle que soit sa nature; puisqu'elle a produit ou dirigé les mouvemens des planètes et des satellites, il faut qu'elle ait embrassé tous ces corps; et vu la distance prodigieuse qui les sépare, elle ne peut avoir été qu'un fluide d'une immense étendue. Pour leur avoir donné dans le même sens un mouvement presque circulaire autour du soleil, il faut que ce fluide ait environné cet astre, comme une atmosphère. La considération des mouvemens planétaires nous conduit donc à penser qu'en vertu d'une chaleur excessive, l'atmosphère du soleil s'est primitivement étendue au-delà des orbes de toutes les planètes, et qu'elle s'est

resserrée successivement, jusqu'à ses limites actuelles; ce qui peut avoir eu lieu par des causes semblables à celle qui fit briller du plus vif éclat, pendant plusieurs mois, la fameuse étoile que l'on vit tout-à-coup, en 1572, dans la constellation de Cassíopée.«

Auf den folgenden 16 Zeilen wird auseinandergesetzt, wie die grosse Excentricität der Kometenbahnen auch zu der Annahme einer ursprünglich weit ausgedehnten Sonnenatmosphäre führt: »qui s'est étendu au-delà du périhélie des comètes observables, et qui, en détruisant les mouvemens de celles qui l'ont traversée pendant la durée de sa grande étendu, les a réunies au soleil.«

Den Schluss der ganzen Hypothese bildet hierauf die folgende Stelle (p. 346):

»Mais comment a-t-elle (c. a. d. l'atmosphère) déterminé les mouvemens de révolution et de rotation des planètes? Si ces corps avaient pénétré dans ce fluide, sa résistance les aurait fait tomber sur le soleil; on peut donc conjecturer qu'ils ont été formés aux limites successives de cette atmosphère, par la condensation des zônes qu'elles a dù abandonner dans le plan de son équateur, en se refroidissant et en se condensant à la surface de cet astre; comme on l'a vu dans le livre précédent[1]). On peut conjecturer encore que les satellites ont été formés d'une manière semblable, par les atmosphères des planètes. Les cinq phénomènes exposés ci-dessus, découlent naturellement de ces hypothèses auxquelles les anneaux de Saturne ajoutent un nouveau de vraisemblance.

---

1) Die Stelle, auf welche LAPLACE hier hindeutet, steht p. 246 l. c. und lautet folgendermassen:

»Le point où la force centrifuge balance la pesanteur, est d'autant plus près du corps, que le mouvement de rotation est plus rapide. En concevant que l'atmosphère s'étende jusqu'à cette limite, et qu'ensuite elle se resserre et se condense par le refroidissement, à la surface du corps; le mouvement de rotation deviendra de plus en plus rapide, et la plus grande limite de l'atmosphère se rapprochera sans cesse de son centre. L'atmosphère abandonnera donc successivement, dans le plan de son équateur, des zônes fluides qui continueront de circuler autour du corps, puisque leur force centrifuge est égale à leur pesanteur: mais cette égalité n'ayant point lieu relativement aux molécules de l'atmosphère, éloignées de l'équateur; elles ne cesseront point de lui appartenir. Il est vraisemblable que les anneaux de Saturne sont des zônes pareilles, abandonnés par son atmosphère.«

Enfin, si dans les zônes abandonnées successivement par l'atmosphère solaire, il s'est trouvé des molécules trop volatiles pour s'unir entr'elles ou aux corps célestes; elles doivent, en continuant de circuler autour du soleil, nous offrir toutes les apparences de la lumière zodiacale, sans opposer une résistance sensible aux mouvemens des planètes.«

Dies ist Alles, was LAPLACE über die Entwickelungstheorie des Planetensystems in der zweiten Auflage seiner »exposition du système du monde« sagt.

66.

Die Abhandlung, in welcher KANT einundvierzig Jahre vor LAPLACE eine ganz ähnliche Theorie aus denselben Erscheinungen weit vollständiger und ausführlicher ableitet, ist betitelt:

»Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, Königsberg und Leipzig 1755 bei Joh. Frdr. Petersen.«

Sie erschien ursprünglich als eine selbstständige Schrift von 200 Seiten und war Friedrich dem Grossen gewidmet. Später ist sie in die vollständige Sammlung von KANT's Werken unverändert übergegangen und die folgenden Citate beziehen sich auf den 6. Band der Ausgabe von ROSENKRANZ und SCHUBERT.

Im ersten Theile, welcher »von der systematischen Verfassung unter den Fixsternen« handelt, wird, wie ich hier nur beiläufig bemerke, ausführlich auseinandergesetzt, dass die Gestalt unseres ganzen Fixsternsystems eine linsenförmige, und die Milchstrasse nichts anderes als die nach der scharfen Kante jener Linse perspectivisch zusammengedrängte Sternschicht sei. Es wird ferner hinzugefügt, dass eine solche Fixsternlinse, aus sehr grossen Weiten betrachtet, als kreisförmiger resp. elliptischer Nebel erscheinen muss. Die hierauf bezügliche interessante Stelle (p. 84 l. c.) lautet folgendermassen:

»Wenn eine solche Welt von Fixsternen in einem so unermesslichen Abstande von dem Auge des Beobachters, das sich ausserhalb derselben befindet, angeschaut wird, so wird dieselbe unter einem kleinen Winkel als ein mit schwachem Lichte erleuchtetes Räumchen erscheinen, dessen Figur cirkelrund sein wird, wenn seine Fläche sich dem Auge geradezu darbietet, und

elliptisch, wenn es von der Seite gesehen wird. Die Schwäche des Lichtes, die Figur und die kennbare Grösse des Durchmessers werden ein solches Phänomenon, wenn es vorhanden ist, von allen Sternen, die einzeln gesehen werden, gar deutlich unterscheiden. — Man darf sich unter den Beobachtungen der Sternkundigen nicht lange nach dieser Erscheinung umsehen. . . . . Die neblichen Sterne sind es, welche wir meinen . . . etc.«

Bekanntlich hat der ältere HERSCHEL 30 bis 40 Jahre später[1] genau dieselbe Ansicht von der Constitution des Fixsternhimmels aufgestellt und sie durch dieselben Betrachtungen wie KANT begründet.

Die fragliche Hypothese jedoch, um welche es sich hier handelt, wird von KANT im zweiten Theile seiner Schrift entwickelt. Gleich im Anfange des ersten Capitels, welches »von dem Ursprunge des planetarischen Weltbaues überhaupt und den Ursachen seiner Bewegungen« handelt, folgert er aus denselben allgemeinen Erscheinungen unseres Planetensystems, wie LAPLACE, die Nothwendigkeit, eine gemeinsame Ursache zur Erklärung derselben anzunehmen. Er sagt nämlich (p. 93 l. c.):

»Wenn man . . . erwägt, dass 6 Planeten mit 9 Begleitern[2], die um die Sonne, als ihren Mittelpunct, Kreise beschreiben, alle nach einer Seite sich bewegen, und zwar nach derjenigen, nach welcher sich die Sonne selber dreht, welche ihrer aller Umläufe durch die Kraft der Anziehung regiert, dass ihre Kreise nicht weit von einer gemeinsamen Fläche abweichen, nämlich von der verlängerten Aequatorsfläche der Sonne, ... so wird man bewogen, zu glauben, dass eine Ursache, welche es auch sei, einen durchgängigen Einfluss in dem ganzen Raume des Systems gehabt hat, und dass die Einträchtigkeit in der Richtung und Stellung der planetarischen Kreise eine Folge der Uebereinstimmung sei,

---

1) F. W. HERSCHEL, On some observations tending to investigate the construction of the heavens. Phil. Trans. 1784.
Id. Astronomical observations and experiments tending to investigate the local arrangement of the celestial bodies in space etc. Ib. 1817.

2) Bekanntlich wurde Uranus erst am 13. März 1781 und der erste und zweite Saturnstrabant am 28. Aug. und 17. Sept. 1789 von WILL. HERSCHEL entdeckt.

die sie alle mit derjenigen materialen Ursache gehabt haben müssen, dadurch sie in Bewegung gesetzt worden.«

KANT ist von der inneren Nothwendigkeit seiner Entwickelungstheorie, welche er auf der angeführten Basis zu geben beabsichtigt, so sehr durchdrungen, dass er meint (p. 95), »man könnte, wenn man weitläufig sein wollte, durch eine Reihe aus einander gefolgerter Schlüsse, nach der Art einer mathematischen Methode, ... endlich auf den Entwurf selber kommen, den ich von dem Ursprunge des Weltgebäudes darlegen werde.«

Vorsichtig und bescheiden fährt er indessen fort und sagt: »allein ich will meine Meinungen lieber in der Gestalt einer Hypothese vortragen, und der Einsicht des Lesers es überlassen, ihre Würdigkeit zu prüfen, als durch den Schein einer erschlichenen Ueberführung ihre Gültigkeit verdächtig machen, und, indem ich die Unwissenden einnehme, den Beifall der Kenner verlieren.«

In dem folgenden Satze wird nun der Kern dieser Hypothese folgendermassen ausgesprochen und hierdurch die oben erwähnte »materiale Ursache« näher bestimmt:

»Ich nehme an: dass alle Materien, daraus die Kugeln, die zu unserer Sonnenwelt gehören, alle Planeten und Kometen bestehen, im Anfange aller Dinge in ihren elementarischen Grundstoff aufgelöst, den ganzen Raum des Weltgebäudes erfüllt haben, darin jetzt diese gebildeten Körper herumlaufen.«

Hierauf versucht KANT (p. 96—99) begreiflich zu machen, wie durch das Zusammenwirken der Gravitation und der in viel kleineren Abständen wirksamen Repulsion allmälig Kreis- oder Wirbelbewegungen der vorhandenen Materie entstehen, welche sich um das durch fortschreitende Verdichtung gebildete Attractionscentrum, der späteren Sonne, gruppirt und so eine, nach bestimmter Richtung rotirende Dunstkugel mit allmälig dichter werdendem Kerne darstellt.

Alsdann wird auseinandergesetzt (p. 100), wie in Folge der Centrifugalkraft die rotirende Nebelmasse sich nach und nach sehr stark abplattet und folglich die Aequatorialebene des hierdurch entstehen-

den Rotationsellipsoïdes mit der Aequatorialebene der späteren Sonne zusammenfallen muss.

Die Art und Weise, wie nun KANT in dieser rotirenden Dunstmasse die Planeten mit ihren Satelliten entstehen lässt, weicht von der Entwickelung in LAPLACE's Hypothese ab, ohne dass jedoch diese Entstehungsweise aufhörte, die zu erklärenden Erscheinungen im Allgemeinen darzustellen, vorausgesetzt, dass man sich, bezüglich der Axendrehung, eine kleine Modification erlaubt und hierdurch einen, im Verhältniss zu der zu Grunde liegenden, richtigen Idee, unbedeutenden Fehlschluss KANT's verbessert.

LAPLACE lässt nämlich, wie wir oben gesehen, die Planeten und ihre Monde aus Ringen entstehen, welche sich in Folge der Centrifugalkraft vom rotirenden Centralkörper ablösen.

KANT dagegen nimmt an, dass dieselbe Ursache, welche in dem ursprünglich gleichförmig ausgebreiteten Urstoffe die Entstehung der Sonne durch Condensation bewirkte, auch in der rotirenden Dunstkugel fortfahre, ihre Wirkung zu thun, und dass demgemäss um bestimmte Attractionscentra Massenanhäufungen entständen, aus welchen sich die Planeten entwickelten[1]).

Es ist klar, dass die auf diese Weise gebildeten Massen in nahezu kreisförmigen Bahnen sämmtlich nach derselben Seite um die Sonne laufen müssen, nach welcher diese um ihre Axe rotirt.

> Diese Folgerung spricht KANT so aus: »Die Planeten bilden sich aus Theilchen, welche in der Höhe (d. i. Abstand von der Sonne), da sie schweben, genaue Bewegungen zu Cirkelkreisen haben: also werden die aus ihnen zusammengesetzten Massen eben dieselben Bewegungen, in eben dem Grade, nach eben derselben Richtung fortsetzen.«

---

1) In einer Anmerkung auf p. 101 bemerkt KANT: »Der Anfang der sich bildenden Planeten ist nicht allein in der NEWTON'schen Anziehung zu suchen. Diese würde bei einem Partikelchen, von so ausnehmender Feinheit, gar zu langsam und schwach sein. Man würde vielmehr sagen, dass in diesem Raume die erste Bildung durch den Zusammenlauf einiger Elemente, die sich durch die gewöhnlichen Gesetze des Zusammenhanges vereinigen, geschehe, bis derjenige Klumpen, der daraus entstanden, nach und nach so weit angewachsen, dass die NEWTON'sche Anziehungskraft an ihm vermögend geworden, ihn durch seine Wirkung in die Ferne immer mehr zu vergrössern.«

Dass die Bahnen der Planeten nicht vollkommene Kreise, sondern Ellipsen mit einer geringen Excentricität sind, erklärt KANT daraus, dass die Theilchen, aus denen sich der Planet in der rotirenden Dunstkugel bildete, nach Massgabe ihres Abstandes vom Attractionscentrum, verschiedene Lineargeschwindigkeiten besitzen. Die Tangentialgeschwindigkeit des aus diesen Theilchen entstandenen Körpers wird folglich eine andere sein, als bei dem Abstande des gebildeten Planeten von der Sonne zur Erzeugung einer kreisförmigen Bahn erforderlich war. (p. 102.)

KANT bemerkt ferner (p. 103), man dürfe sich auch nicht wundern, dass die Ebenen der Planetenbahnen nicht genau alle in derselben Ebene liegen. Denn das ursprüngliche, sehr platt gedrückte Rotationsellipsoïd, aus dem sich die Sonne mit ihren Planeten entwickelte, habe doch immer noch eine bestimmte Dicke gehabt, innerhalb welcher es dem Zufall überlassen blieb, an einem beliebigen Puncte die für die Bildung eines Planetenkernes günstigen Umstände herbeizuführen.

67.

In dem nun folgenden, zweiten Capitel, welches »von der verschiedenen Dichtigkeit der Planeten und dem Verhältnisse ihrer Massen« handelt, wird mit Rücksicht auf die bisher gemachten Annahmen auseinandergesetzt, weshalb die von der Sonne entfernteren Planeten von geringerem specifischen Gewichte als die ihr näheren sein müssen (p. 104—106), weshalb die Sonne an Masse die übrigen Planeten so ausserordentlich überwiegt (p. 109), und weshalb die Massen der entfernteren Planeten im Allgemeinen grösser als die der Sonne näheren sind (p. 111). Zum Schlusse wird aus der Masse der Sonne und der Planeten mit Rücksicht auf die Dimensionen des primitiven Dunstellipsoïdes die Dichtigkeit der gleichförmig in diesem Raume ausgebreiteten Materie berechnet (p. 111 — 112), und endlich die mittlere Dichtigkeit einer aus allen Planeten gebildeten Kugel mit der Dichtigkeit der Sonne verglichen.

Das dritte Capitel enthält Betrachtungen über die Excentricität der Planetenkreise und den Ursprung der Kometen. Ich lasse es hier bei der kurzen Andeutung des Inhaltes dieses Capitels bewen-

den, da derselbe nicht unmittelbar mit der Begründung der fraglichen Hypothese zusammenhängt.

Viel wichtiger für unsere Untersuchungen ist der Inhalt der beiden folgenden Capitel, von denen das vierte, den »Ursprung der Monde und die Bewegungen der Planeten um ihre Axe«, und das fünfte »den Ursprung des Ringes des Saturn und Berechnung der täglichen Umdrehung dieses Planeten aus den Verhältnissen desselben« behandelt.

Die Worte, mit denen KANT auf Seite 122 a. a. O. das erstgenannte Capitel beginnt, sind folgende:

> »Die Bestrebung eines Planeten, aus dem Umfange der elementarischen Materie sich zu bilden, ist zugleich die Ursache seiner Axendrehung, und erzeugt die Monde, die um ihn laufen sollen.
>
> Was die Sonne mit ihren Planeten im Grossen ist, das stellt ein Planet, der eine weit ausgedehnte Anziehungssphäre hat, im Kleinern vor, nämlich das Hauptstück eines Systems, dessen Theile durch die Attraction des Centralkörpers in Bewegung gesetzt worden.«

In analoger Weise, wie nun LAPLACE, jedoch erst in der dritten Auflage seiner »Exposition du système du monde« vom Jahre 1808, die Rotation des aus einem Ringe gebildeten Planeten durch den Unterschied der Lineargeschwindigkeiten am äussern und innern Ringrande erklärt[1], leitet KANT diese Rotation aus dem Unterschiede der Lineargeschwindigkeiten ab, welche die der Sonne näheren und entfernteren Theilchen der primitiven Dunstmasse besitzen, aus denen sich der entstehende Planet mit seinen Monden in der oben auseinandergesetzten Weise bildet. Indessen ist diese Ableitung unklar und insofern auch unrichtig, als KANT die einzelnen Theilchen der die Sonne einhüllenden Dunstmasse, bereits in der Weise unter dem Einflusse der Sonnenattraction befindlich betrachtet, dass jedes Theilchen derselben, gleichsam als kleiner Planet, eine Bahn um die Sonne beschreibt. Hierdurch müssten nun offenbar, dem dritten

---

1) LAPLACE sagt hier auf p. 392: »Il est facile de voir que les vitesses réelles des parties de l'anneau de vapeurs, croissant avec leurs distances au soleil, les globes produits par leur aggregation, ont dû tourner sur eux-mêmes, dans le sens de leurs mouvemens de revolution.«

KEPLER'schen Gesetze gemäss, die der Sonne näheren Theilchen eine grössere Lineargeschwindigkeit als die entfernteren erhalten, und hierdurch dem sich bildenden Planeten eine Rotation ertheilen, welche nicht mit der beobachteten übereinstimmt.

Der Fehlschluss, zu dem KANT hier bei Voraussetzung durchaus richtiger Principien verleitet wird, entsteht lediglich durch das Bestreben, aus der Wechselwirkung von Attraction und Repulsion das Entstehen der Rotation der ursprünglichen Dunstkugel abzuleiten, also einer Bewegung, die von LAPLACE bei Entwickelung seiner Hypothese von vornherein als eine gegebene vorausgesetzt wird.

Es ist klar, dass auch bei Zugrundlegung der KANT'schen Vorstellungsweise von der Entstehung der Planeten die Rotation derselben in einer den Beobachtungen entsprechenden Weise mit Nothwendigkeit gefolgert werden kann, sobald man nur den von der Sonne weiter abstehenden Theilchen eine grössere Lineargeschwindigkeit als den näheren beilegt.

Jm fünften Capitel geht KANT auf die Entstehung des Saturnsringes ein. Er erklärt ihn aus einer den Saturn umgebenden Atmosphäre, welche sich bei der Rotation des Planeten durch die Centrifugalkraft am Aequator in Form eines frei schwebenden Ringes abgelöst hat. Die betreffenden Worte lauten:

»Auf solche Weise nun ändert der Dunstkreis seine Gestalt, welche eine erfüllte Sphäre war, in eine Form einer ausgebreiteten Fläche, welche gerade mit dem Aequator des Saturn zusammentrifft; aber auch diese Fläche muss aus eben denselben mechanischen Gründen zuletzt die Form eines Ringes annehmen . . . Der inwendige Rand dieses entspringenden Ringes wird durch das Verhältniss der Geschwindigkeit des Planeten unter seinem Aequator bestimmt. Denn in demjenigen Abstande von seinem Mittelpunkte, da diese Geschwindigkeit der Attraction des Ortes das Gleichgewicht leistet, da ist die grösste Nähe, in welcher die von seinem Körper aufgestiegenen Theilchen, durch die von der Axendrehung eigene Bewegung, Cirkelkreise beschreiben können.« (p. 133 u. 134.)

Sehr interessant ist nun die folgende Stelle auf p. 135, in welcher KANT das Resultat seiner Berechnung der Rotationszeit des

Saturns aus dem Abstande des inneren Ringrandes und der Umlaufszeit des dritten Saturnstrabanten angiebt. Es heisst hier:

»Wir wollen nunmehr die Zeit der Achsendrehung dieses Himmelskörpers aus den Verhältnissen seines Ringes, nach der angeführten Hypothese seiner Erzeugung, berechnen. Weil alle Bewegung der Theilchen des Ringes eine einverleibte Bewegung von der Achsendrehung des Saturn ist, auf dessen Oberfläche sie sich befanden; so trifft die schnellste Bewegung unter denen, die diese Theilchen haben, mit der schnellsten Umwendung, die auf der Oberfläche des Saturn angetroffen wird, überein, das ist: die Geschwindigkeit, womit die Partikeln des Ringes in seinem inwendigen Rande umlaufen, ist derjenigen, die der Planet auf seinem Aequator hat, gleich. Man kann aber jene leicht finden, indem man sie aus der Geschwindigkeit eines von den Saturnstrabanten sucht, dadurch, dass man selbige in dem Verhältnisse der Quadratwurzel der Entfernungen von dem Mittelpuncte des Planeten nimmt [1]). Aus der gefundenen Geschwindigkeit ergiebt sich unmittelbar die Zeit der Umdrehung des Saturn um seine

---

1) KANT betrachtet hierbei ein Theilchen des inneren Ringrandes wie einen Saturnsmond, welcher als solcher den KEPLER'schen Gesetzen unterworfen ist. Da die ihm ertheilte Tangentialgeschwindigkeit, zufolge der oben gemachten Hypothese, übereinstimmen muss mit der Geschwindigkeit eines Punctes auf dem Saturnsäquator, so lässt sich hieraus die Rotationszeit des Saturns berechnen. Bezeichnet T die Umlaufszeit eines Mondes und R seinen mittleren Abstand vom Saturn, ebenso t und r die analogen Grössen für ein Theilchen des inneren Ringrandes, so hat man nach dem dritten KEPLER'schen Gesetze: $T^2 : t^2 = R^3 : r^3$. Bezeichnen C und c die Lineargeschwindigkeiten des Mondes und Ringtheilchens, so ist $T = \frac{2R\pi}{C}$ und $t = \frac{2r\pi}{c}$. Durch Einführung dieser Grössen in die obige Proportion erhält man: $C : c = \sqrt{r} : \sqrt{R}$, d. h. diejenige Relation, auf welche KANT oben hindeutet. Die Lineargeschwindigkeit eines Ringtheilchens wird also $c = \frac{2R\pi}{T}\sqrt{\frac{R}{r}}$. Bezeichnet ϱ den Halbmesser des Saturnsäquators, t' seine Rotationszeit und c' die Lineargeschwindigkeit eines seiner Puncte, so ist $c' = \frac{2\varrho\pi}{t'}$. Aus der Bedingung, dass c und c' gleich sein sollen, erhält man nun: $t' = T\frac{\varrho}{R}\sqrt{\frac{r}{R}}$. Nach dieser Formel hat KANT mit Benutzung CASSINI'scher Angaben für R, r und ϱ die oben angegebene Rotationszeit Saturns erhalten. Die neueren Daten würden dagegen nur fünf Stunden und einige Minuten ergeben, also ziemlich genau die Hälfte der wirklichen Rotationszeit.

Achse: sie ist von sechs Stunden, drei und zwanzig Minuten und drei und fünfzig Secunden.«

Nach der unten entwickelten Formel hat KANT vorher die Umlaufszeit eines Punctes des inneren Ringrandes berechnet und spricht das Resultat dieser Berechnung folgendermassen aus: »Nun ist die Zeit, darin, nach dieser Hypothese, die Theilchen des inwendigen Randes ihren Lauf verrichten, ungefähr wie zehn Stunden .... (a. a. O. p. 140).

Man vergleiche hiermit, was LAPLACE im fünften, erst 1825 erschienenen Bande seiner Mecanique céleste, im dritten Capitel des vierzehnten Buches sagt.

Bei Gelegenheit einer kurzen historischen Uebersicht über die Entdeckung des Saturnsringes und seiner Rotation wird p. 288 bezüglich W. HERSCHEL's Folgendes bemerkt:

»Dans le mois de juin de 1790, il présenta à la Société royale de Londres une série d'observations, d'où il conclut la durée de la rotation de l'anneau intérieur de Saturne, d'environ dix heures et demie sexagésimales.«

Auf der folgenden Seite (p. 289), weiter unten, spricht LAPLACE von seinem »Mémoire inséré dans le volume des Mémoires de l'Academie des Sciences de 1787, qui parut au mois de février 1789«, in welchem die Bedingungen für die Stabilität des Saturnsringes untersucht werden. Auf diese Abhandlung Bezug nehmend fährt er weiter fort und sagt:

»La durée de la rotation doit être alors la même que celle de la révolution d'un satellite dont la distance au centre de Saturn serait celle du centre de la figure géneratrice, au même point: j'en avais conclu que cette durée était d'environ $\frac{5}{12}$ de jour, avant qu'HERSCHEL l'eût reconnue par l'observation.«

LAPLACE gelangt demnach hier, von denselben Principien ausgehend, zu demselben Resultate wie KANT und legt, wie man sieht, kein geringes Gewicht darauf, diese Rotation des Ringes auf theoretischem Wege früher gefunden zu haben, als dieselbe HERSCHEL mit Hülfe seiner kräftigen Teleskope durch Beobachtung ermittelt hatte. Die Priorität dieser theoretischen Vorausbestimmung einer Himmelserscheinung, welche erst viel später von der Beobachtung bestätigt worden ist, gebührt jedoch, wie man sieht, unstreitig unserem Landsmanne

KANT, dem Philosophen von Königsberg, welcher seine Berechnung in einem Jahre veröffentlichte, in welchem LAPLACE noch als sechsjähriger Knabe den Kinderspielen oblag, und WILLIAM HERSCHEL, ein siebenzehnjähriger Jüngling, als Hautboist eines hannoverschen Garderegiments fungirte.

68.

Nachdem aus der oben gefundenen Rotationszeit Saturns das Verhältniss der Schwere und Centrifugalkraft am Aequator dieses Planeten berechnet ist, schliesst KANT auf eine Abplattung und hofft von der Verbesserung der optischen Hülfsmittel eine Bestätigung seiner Vermuthung. Er sagt nämlich (p. 138):

> »Man kann bei solchen Umständen, und vornehmlich bei der so grossen Weite dieses Planeten, leicht erachten, dass die abgeplattete Gestalt seines Körpers nicht so leicht, als man wohl denken sollte, in die Augen fallen werde; dennoch wird die Sternwissenschaft, deren Aufnahmen vornehmlich auf die Vollkommenheit der Werkzeuge ankommt, die Entdeckung einer so merkwürdigen Eigenschaft, wo ich mir nicht zu sehr schmeichle, durch derselben Hülfe vielleicht zu erreichen in den Stand gesetzt werden.«

Nach einer kurzen Vergleichung der theoretisch und empirisch beim Jupiter gefundenen Grösse der Abplattung fährt KANT auf Seite 139 a. a. O. folgendermassen fort:

> »Wir haben aus der Erzeugung des Saturn'schen Ringes Anlass genommen, den kühnen Schritt zu wagen, die Zeit der Achsendrehung, welche dieErngläser zu entdecken nicht vermögen, ihm durch Rechnung zu bestimmen. Lasset uns die Probe einer physischen Vorhersagung mit einer andern an eben diesem Planeten vermehren, welche von vollkommneren Werkzeugen künftiger Zeiten das Zeugniss ihrer Richtigkeit zu erwarten hat.«

Auf den nun folgenden 3 Seiten p. 140 — 143 sucht KANT aus den verschiedenen Winkelgeschwindigkeiten der einzelnen Ringtheilchen mit Rücksicht auf ihre Cohäsionsverhältnisse nachzuweisen, dass der Saturnsring aus mehreren concentrischen Ringen bestehen müsse, die durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt sind.

Er erkennt in dieser Theilung eine wesentliche Bedingung für die Stabilität des Saturnsringes[1].

KANT beschliesst (p. 142) seine Vorherverkündigung mit folgenden zuversichtlichen Worten:

»Diese Muthmassung vergnügt mich nicht wenig, vermittelst der Hoffnung, selbige noch wohl dereinst durch wirkliche Beobachtungen bestätigt zu sehen.«

Hierauf werden die Bedingungen untersucht, welche bei einem Planeten zur Bildung eines Ringes erforderlich sind und dann gezeigt, dass beim Saturn diese Bedingungen bei Weitem am günstigsten sind.

Im sechsten Capitel endlich spricht KANT seine Vermuthung über die Natur des Zodiakallichtes aus. Er sagt p. 148:

»Die Sonne ist mit einem subtilen und dunstigen Wesen umgeben, welches in der Fläche ihres Aequators mit einer nur geringen Ausbreitung auf beiden Seiten, bis zu einer grossen Höhe sie umgiebt, wobei man nicht versichert sein kann, ob es, wie Herr VON MAIRAN es abbildet[2], in der Figur eines erhaben geschliffenen Glases (*figura lenticulari*) mit der Oberfläche der Sonne zusammenstösst, oder wie der Ring des Saturn allenthalben von ihm absteht. Es sei nun das Eine oder das Andere, so bleibt Aehnlichkeit genug übrig, um dieses Phänomenon mit dem Ringe des Saturn in Vergleichung zu stellen und es aus einem übereinkommenden Ursprunge herzuleiten.«

KANT beschliesst jedoch (p. 150) die hierin ausgesprochene Vermuthung mit den Worten:

»Die gegenwärtige Erklärung hat keine andere Würdigkeit, als diejenige, welche Muthmassungen zukommt . . . .«

Hiermit ist nun die Darstellung der Hypothese vom Ursprung unseres Planetensystems, wie sie KANT ein und vierzig Jahre vor LAPLACE in der angezogenen Abhandlung entwickelt hat, beendet.

---

1) Als KANT diese Worte niederschrieb, war ihm die damals vereinzelte Beobachtung CASSINI's vom Jahre 1715 über die Theilung des Ringes noch unbekannt, wie dies in einer später hinzugefügten Anmerkung ausdrücklich bemerkt ist.

2) J. J. DE MAIRAN, Systême de L. EULER sur la cause de la queue des comètes, de l'aurore boréale et de la lumière zodiacale etc. Mem. Par. 1747.

Wie man gesehen, besteht ein eigentlicher Unterschied zwischen KANT's und LAPLACE's Darstellung nur darin, dass Ersterer die einzelnen Molecüle der um die Sonne rotirenden Dunstkugel ausser aller Beziehung untereinander, und lediglich unter dem Einfluss der Sonnenattraction sich bewegen lässt, während Letzterer stillschweigend die Winkelgeschwindigkeit bei allen Theilchen als gleich voraussetzt und daher die ganze Dunstkugel bezüglich ihrer Rotation wie einen festen Körper betrachtet. Die Wahrheit liegt vielleicht in der Mitte; man muss dabei nur, zur Erklärung der Rotation der sich bildenden Planeten die Annahme machen, dass die Lineargeschwindigkeiten der Molecüle im Allgemeinen mit dem Abstande von der Rotationsaxe wachsen, eine Annahme, welche noch nicht nothwendig die Gleichheit der Winkelbewegung einschliesst. Unter dieser Voraussetzung werden durch beide Hypothesen die gedachten Eigenschaften des Planetensystems, welche nicht aus dem Gravitationsprincip folgen, wie mir scheint, in gleicher Weise befriedigend dargestellt, obschon sich die LAPLACE'sche Vorstellungsweise von der den Planeten vorangehenden Ringbildung ihrer grösseren Einfachheit wegen unstreitig vor der KANT'schen empfiehlt.

Der erwähnte Unterschied läuft also in letzter Instanz auf eine verschiedene Annahme über den Molecularzustand der primitiven Materie hinaus, indem KANT dieselbe gleichsam als eine staubartige Masse in einem widerstandslosen Mittel, etwa nach Art der Kometenschweife, LAPLACE dagegen als eine elastisch flüssige Gasmasse betrachtet.

Wie dem auch sein mag, so wird die hier gegebene Zusammenstellung der LAPLACE'schen und KANT'schen Darstellungsweise jedem Unbefangenen die Ueberzeugung verschafft haben, dass KANT jedenfalls wenigstens als Begründer der in Rede stehenden Hypothese von der Genesis des Weltsystems betrachtet werden muss. Man hat gesehen, dass er aus genau denselben Thatsachen der Beobachtung im Wesentlichen ganz zu denselben Schlüssen wie LAPLACE gelangt und dass er bei Berechnung der Rotationszeit des Saturnsringes die Principien seiner Hypothese mathematisch zu verwerthen versteht, um Erscheinungen *a priori* aus derselben zu deduciren, deren Existenz die Unvollkommenheit der damaligen optischen Hülfsmittel noch nicht festzustellen vermocht hatte. Ebenso prüft er mathematisch die

Richtigkeit seiner Hypothese von dem Ursprunge des Saturnsringes, indem er das Verhältniss der Schwere und Centrifugalkraft am Aequator auch für die übrigen Planeten berechnet und hierbei nachzuweisen sucht, dass die Bedingungen zur Erzeugung eines Ringes beim Saturn am günstigsten sind.

Endlich giebt uns die Zuversichtlichkeit, mit welcher KANT die Entdeckung einer mehrfachen Theilung des Saturnsringes aus den Principien seiner Hypothese vorherverkündet, ein schönes Beispiel von jenem intuitiven Scharfblick, welcher es hochbegabten Männern zu allen Zeiten gestattet hat, aus im Allgemeinen richtigen Prämissen instinctiv solche Wahrheiten zu folgern, welche erst die Resultate vollständigerer und strengerer Schlussreihen sind, als man sie in den unsterblichen Werken des Genius zu finden pflegt. Ich erinnere hier nur an KEPLER, von dem ein englischer Schriftsteller sagt, »sein glücklicher Erfolg wird wohl alle diejenigen mit Besorgniss erfüllen, die gewohnt sind, Beobachtungen und strenge Inductionen als das einzige Mittel zu betrachten, die Geheimnisse der Natur zu erforschen«[1]).

Sicherlich würde auch LAPLACE, hätte er Kenntniss von der Hypothese KANT's gehabt, diesem alle Gerechtigkeit haben widerfahren lassen. Ich glaube daher nicht, dass die Franzosen im Sinne ihres hoch berühmten Landsmannes handeln, wenn sie es selbst in den neuesten Auflagen der »exposition du systême du monde« unterlassen, mit nur wenigen Worten gelegentlich einen Irrthum des Verfassers zu berichtigen, der selber sein Werk durch folgende Worte mit gross gedruckten Lettern beschliesst[2]):

»VÉRITÉ, JUSTICE: voilà des lois immuables.«

69.

Es soll nun im Folgenden der Versuch gemacht werden, sämmtliche Erscheinungen, welche uns die Himmelskörper, abgesehen von ihrer Ortsveränderung, darbieten, im Wesentlichen als Consequenzen des oben p. 221 angeführten Hauptsatzes der KANT'schen Hypothese

1) Lib. of usef. knowl. Hist. of Astr. p. 53.
2) Exposition du systême du monde. 2°. édition p. 351.

von der ursprünglich dunstförmigen Vertheilung der Materie im Weltraume und ihrer allmäligen Verdichtung darzustellen[1]).

Betrachtet man hierbei den ungemein fein zertheilten Zustand der primitiven Materie als eine Wirkung derselben Ursache, welche heute dazu erforderlich wäre, jenen Zustand wieder hervorzubringen, so wird man naturgemäss zu der weiteren Annahme geführt, dass die Temparatur jener ursprünglichen Nebelmasse eine ausserordentlich hohe gewesen sei.

Diese beiden Annahmen, von denen die zweite eigentlich nur eine Folge der ersten ist, haben bereits durch die neuesten Ergebnisse der Spectralanalyse eine unerwartete Stütze erhalten. Aus der ursprünglich gleichmässigen Vertheilung der Materie folgt nothwendig, dass die Stoffe, aus denen die Himmelskörper zusammengesetzt sind, im Wesentlichen und Allgemeinen bei allen dieselben sein müssen.

Die spectralanalytischen Untersuchungen von DONATI und SECCHI[2]), namentlich aber die neuesten und gründlichsten von HUGGINS und MILLER[3]), haben den Beweis geliefert, dass in sämmtlichen von ihnen beobachteten Fixsternen zahlreiche Bestandtheile unserer Sonne vorhanden sind. Das Beobachtungsmaterial dieser beiden Gelehrten erstreckt sich auf nicht weniger als funfzig Fixsterne, von denen sie jedoch vorzugsweise die helleren einer genaueren Analyse unterworfen haben.

So ist z. B. im Aldebaran die Anwesenheit von Natrium, Magnesium, Wasserstoff, Calcium, Eisen, Wismuth, Tellur, Antimon

---

2) Ich bemerke hierbei, dass KANT jene ursprüngliche Vertheilung der Materie nicht nur auf den von unserem Planetensysteme eingenommenen Raum beschränkt, sondern auf das ganze Fixsternsystem, welchem unsere Sonne angehört und den Umfang des uns überhaupt sichtbaren Theiles des Universums. Er folgert die Wahrscheinlichkeit dieser Annahme durch Analogie gleich im Anfange des siebenten Capitels seiner Naturgeschichte des Himmels, welches »von der Schöpfung im ganzen Umfange ihrer Unendlichkeit, sowohl dem Raume, als der Zeit nach«, handelt.

2) Astronomische Nachrichten No. 1504.

3) On the Spectra of some of the Fixed Stars by WILLIAM HUGGINS and W. A. MILLER. Philosophical Transactions 1864. (Received April 28, — Read May 26) p. 413 — 435.

und Quecksilber nachgewiesen. Bei α Orionis fehlen Tellur, Antimon und Quecksilber, dagegen sind ausser den oben genannten Stoffen noch Thallium, Stickstoff und Gold auf jenem Sterne vorhanden.

HUGGINS und MILLER fassen das Resultat ihrer Spectraluntersuchungen an Fixsternen p. 434 a. a. O. schliesslich in folgendem, wichtigen Satze zusammen:

»The observations recorded in this paper seem to afford some proof that a similar unity of operation extends through the universe as far as light enables us to have cognizance of material objects. For we may infer that the stars, while differing the one from the other in the kinds of matter of wich they consist, are all constructed upon the same plan as our sun, and are composed of matter identical, at least in part, with the materials of our system«.

Durch dieses Ergebniss einer rein exacten Untersuchung erhält, wie man sieht, unsere oben (p. 209) theoretisch aus den ersten Elementen der Inductionsmethode gefolgerte Hypothese von der Gleichheit der allgemeinen Eigenschaften der Materie im Weltraume, eine empirische Bestätigung, welche uns zu der Hoffnung berechtigt, dass sich die Fruchtbarkeit jener Hypothese auch bei der Erklärung anderer Erscheinungen bewähren werde.

70.

Die zweite Hypothese, welche oben gemacht wurde, bestand darin, dass die Temperatur der ursprünglichen Nebelmasse eine sehr hohe gewesen sei. Wir gelangten naturgemäss zu dieser Annahme durch Anwendung des Princips von der Gleichheit der allgemeinen Eigenschaften der Materie im Weltraume, indem wir stillschweigend voraussetzten, dass dieselbe Ursache, welche in dem engen Bereiche der uns allein bekannten tellurischen Erscheinungen alle Körper in den dunst- oder gasförmigen Zustand zu versetzen vermag, auch ganz dieselbe Wirkung auf die Körper der entlegensten Regionen des uns sinnlich wahrnehmbaren Universums ausüben müsse.

Auch diese Annahme, über den Temperaturzustand der primitiven Dunstmasse, scheint durch die interessanten Untersuchungen

von HUGGINS und MILLER eine Stütze erhalten zu haben, welche kaum einen Zweifel an ihrer Richtigkeit mehr zulässt.

Die genannten Gelehrten haben nämlich in einer, vier Monate später als die bereits citirten Untersuchungen, veröffentlichten Abhandlung ihre Resultate der Spectralanalyse von Nebelflecken mitgetheilt[1]).

Die Analyse wurde mit Anwendung eines Refractors von 8 Zoll (inches) Oeffnung und 10 Fuss Focaldistanz angestellt. Das Objectiv, aus der Werkstatt des geschickten amerikanischen Künstlers ALVAN CLARK in Cambridge, wird von den Verfassern in ihrer Abhandlung als »a very fine one« bezeichnet. Der Spectralapparat wurde eigens für diese Untersuchungen construirt und muss die nähere Beschreibung desselben in der citirten Abhandlung nachgelesen werden.

Mit Hülfe dieses Apparates wurden zunächst die folgenden 8 Nebel untersucht, welche hier mit den Nummern des J. HERSCHEL'schen Nebelkataloges bezeichnet und dort sämmtlich als sogenannte planetarische Nebel aufgeführt sind. Ebenso sind die beigefügten Bemerkungen jenem Kataloge entnommen.

No. 4373. $AR = 17^h\ 58^m$ $D = +\ 66^0\ 38'$. A planetary nebula; very bright; pretty small; suddenly brighter in the middle, very small nuclens. (Im Drachen.)

No. 4390. $AR = 18^h\ 5^m$ $D = +\ 6^0\ 49'$. A planetary nebula; very bright; very small; round; little hazy. (Im Stier des Poniatowsky.)

No. 4514. $AR = 19^h\ 41^m$ $D = +\ 50^0\ 10'$. A planetary nebula with a central star. Bright; pretty large; round; star of the 11th magnitude in the middle. (Im Schwan.)

No. 4510. $AR = 19^h\ 36^m$ $D = -\ 14^0\ 29'$. A planetary nebula; Brigt; very small; round. (Im Schützen.)

No. 4628. $AR = 20^h\ 56^m$ $D = -\ 11^0\ 55'$. An exceedingly interesting object. Planetary; very bright; small; elliptic. (Im Wassermann.)

---

1) On the Spectra of some of the Nebulae; a supplement to the Paper »On the Spectra of some of the Fixed Stears« by W. HUGGINS and W. A. MILLER. Philosophical Transactions 1864 p. 437—444.

No. 4447. $AR = 18^h\ 48^m$ $D = + 32^0\ 51'$. An annular nebula; bright; pretty large; considerably elongated. (In der Leier.)

No. 4964. $AR = 23^h\ 19^m$ $D = + 41^0\ 46'$. Planetary; very bright; pretty small, round blue. (In der Eidechse.)

No. 4532. $AR = 19^h\ 53^m$ $D = + 32^0\ 20'$. Very bright; very large; irregulary extended. Dumb-bell. (Im Fuchs.)

Das höchst merkwürdige Resultat, welches die spectralanalytische Untersuchung dieser Nebel geliefert hat, besteht darin, dass das Licht derselben fast aus vollkommen homogenen Strahlen besteht, welche sich zu einer hellen Linie im Gesichtsfelde des Spectralapparates vereinigen. Diese Linie coïncidirt genau mit derjenigen hellen Linie, welche man ausser anderen Linien im Lichte des elektrischen Inductionsfunkens beobachtet, wenn derselbe in einer stickstoffhaltigen Atmosphäre überspringt.

Ausser dieser sehr hellen Linie sind von HUGGINS und MILLER noch zwei andere beobachtet worden, welche jedoch bezüglich ihrer Intensität mit jener ersten Linie kaum verglichen werden können. Die schwächste derselben coïncidirt mit einer Linie, die im Spectrum des elektrischen Funkens hell auf dunklem Grunde erscheint, wenn die Entladung in einer wasserstoffhaltigen Atmosphäre stattfindet, die andere dagegen würde, wenn auch weniger genau, mit der stärksten Linie des Barium-Spectrums zusammenfallen.

Dass der elektrische Funke seine Licht- und Wärmeentwickelung lediglich dem Glühen von fein zertheilter Materie verdankt, die theils durch die Beschaffenheit der Elektroden, theils durch die Natur der die letzteren umgebenden Gasmasse bestimmt wird, ist eine jetzt unter den Physikern so allgemein angenommene Voraussetzung, dass ich mich hier bei den Argumenten für dieselbe nicht länger aufhalten will. Es sei nur bemerkt, dass die Spectralanalyse selbst einen neuen und, wie mir scheint, sehr schlagenden Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme geliefert hat, indem sie zeigte, dass es für das Entstehen der hellen Linien der Metallspectra ganz gleichgültig ist, ob man das betreffende Metall durch eine gewöhnliche Wärmequelle, z. B. durch eine BUNSEN'sche Gasflamme, oder durch den

elektrischen Funken in Dampfform verwandelt [1]. Wir besitzen daher im elektrischen Funken ein einfaches Mittel, alle Körper in einen glühenden, dampfförmigen Zustand zu versetzen. Nach den Regeln der inductiven Methode sind wir genöthigt, diesen glühenden Zustand auch bei solchen Körpern als Ursache der hellen Linien im Lichte des elektrischen Funkens anzunehmen, bei denen es durch die gewöhnlichen Mittel der Erwärmung nicht gelingt, sie in hinreichend intensives Glühen zu versetzen.

Es ist dies bei sämmtlichen Gasen der Fall, welche nur der elektrische Funke in hinreichend starkes Glühen bringen kann, und welches daher die Veranlassung zum Entstehen besonderer heller Linien im Spectrum dieses Funkens wird. Ein schöner Beweis, dass diese Linien wirklich nur Strahlen sind, welche von glühenden Gastheilchen ausgesandt werden, besteht darin, dass man durch künstliche Erniedrigung der Temperatur des Funkens, z. B. durch Anwendung flüssiger Elektroden, jene Linien, soweit sie nicht durch die Anwesenheit der vom Funken durchsetzten Luftmasse bedingt sind, vollständig verschwinden lassen kann [2].

Mit Berücksichtigung alles hier Gesagten gelangen wir durch Anwendung der Newton'schen Regeln zu der Annahme, dass die hellen Linien, welche im Spectrum der angeführten acht planetarischen Nebel beobachtet wurden, ihre Existenz einer glühenden Gasmasse verdanken.

Die genannten Gelehrten ziehen denselben Schluss aus ihren Beobachtungen, und bemerken gleichzeitig, wie man, mit Berücksichtigung des von Kirchhoff in einer klassischen Abhandlung [3] allgemein für alle Körper bewiesenen Satzes von der Constanz des Verhältnisses der Absorption und Emission bei derselben Temperatur, zu der weiteren Annahme gelangt, dass die Lichtemission jener

---

1) Vgl. Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente von G. Kirchhoff. Separat-Abdruck a. d. Abhandl. d. Berl. Acad v. J. 1862 p. 4.

2) A. Mitscherlich, Ueber die Spectren der Verbindungen und der einfachen Körper. Pogg. Ann. Bd. CXXI, p. 463.

3) G. Kirchhoff, Ueber den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme. Pogg. Ann. Bd. CIX, p. 275—301.

Nebelmassen nur gering sein, und lediglich von den an der Oberfläche gelegenen Gasschichten ausgesandt werden könne[1]).

Von besonderer Wichtigkeit scheint mir eine am Schlusse der genannten Abhandlung gemachte Bemerkung. Es wird dort nämlich hervorgehoben, dass von den dreissig chemischen Elementen, welche der Spectralanalyse unterworfen wurden, mit Ausnahme des Stickstoffs, kein einziges eine helle Linie besitzt, die in der Nähe jener hellen, in den Spectren der planetarischen Nebel beobachteten, Linie läge. Wollte man aber aus diesem Umstande jene Linie einer glühenden Stickstoff-Masse zuschreiben, so wäre es wiederum räthselhaft, weshalb nicht noch andere, nahe ebenso helle Linien des irdischen Stickstoff-Spectrums im Lichte der Nebel wahrnehmbar sind[2]).

Wie dem aber auch sein mag, unter allen Umständen sind wir nach den Regeln der Analogie berechtigt, jene helle Linie im Lichte der planetarischen Nebel einer glühenden Gasmasse zuzuschreiben, was für unsere Betrachtungen hier das Wesentlichste ist.

Im Uebrigen theile ich vollkommen die Ansicht, welche HUGGINS und MILLER am Schlusse ihrer Arbeit in folgendem Satze aussprechen:

»The speculation presents itself, whether the occurence of this one line only in the nebulae may not indicate a form of matter more elementary than nitrogen, and which our analysis has not yet enabled us to detect.«

Die Annahme einer derartigen Erklärung jener hellen Linie scheint mir noch wesentlich durch die Untersuchungen von ALEXANDER MITSCHERLICH an Wahrscheinlichkeit zu gewinnen, indem derselbe nachwies, dass die Verbindungen der Metalle andere Spectra haben als die Metalle selbst[3]). Wir wissen nun aber, dass die Temperatur eine Hauptrolle bezüglich der Verwandtschaft der Elemente spielt, und dass Verbindungen, welche bei einer niedrigen Tempe-

---

1) A. a. O. p. 443.

2) »If, however, this line were due to nitrogen, we ought to see other lines as well; for there are specially two strong double lines in the spectrum of nitrogen, one at least of which, if they existed in the light of the nebulae, would be easily visible.« Vgl. a. a. O. p. 443.

3) A. MITSCHERLICH, Beiträge zur Spectral-Analyse. Pogg. Ann. Bd. CXVI, p. 499.

ratur bestehen, bei einer höheren in ihre einfacheren Bestandtheile zersetzt werden. Es scheint mir daher nicht ungereimt, die Annahme zu machen, dass die Mehrzahl der jetzt von uns als Elemente bezeichneten Körper, bei hinreichend hohen Temperaturen, sich noch in einfachere Bestandtheile zerlegen. Mit Rücksicht auf die angeführten Untersuchungen MITSCHERLICH's müssen alsdann diese Zersetzungen auch ihren entsprechenden Ausdruck im Spectrum finden, so dass man für jene planetarischen Nebelmassen nur eine Temperatur anzunehmen hätte, welche diejenigen Hitzegrade weit übersteigt, die wir durch alle uns zu Gebote stehenden Mittel, selbst durch Elektricität, hervorzubringen im Stande sind.

Sollte es gelingen, allgemeine und gesetzmässige Beziehungen zwischen der Anordnung der hellen Spectrallinien einerseits und der Temperatur und Zusammensetzung der sie erzeugenden, glühenden Gase andrerseits zu entdecken, so würden unsere chemischen Kenntnisse und Anschauungen durch Beobachtung jener entlegensten Objecte der sinnlich wahrnehmbaren Welt, in einer Weise bereichert werden, von der man heut zu Tage vielleicht kaum eine Ahnung hat.

Ausser den angeführten acht planetarischen Nebeln sind von den genannten Beobachtern noch folgende Objecte spectralanalytisch untersucht worden, die hier ebenfalls mit den Bezeichnungen des HERSCHEL'schen Kataloges angegeben sind.

No. 4294. $AR = 17^h\ 13^m$ $D = + 43^0\ 47'$. Very bright globular cluster of stars. (Im Hercules.)

No. 116. $AR = 0^h\ 35^m$ $D = + 40^0\ 30'$. Der grosse Nebel in der Andromeda.

No. 117. $AR = 0^h\ 35^m$ $D = + 40^0\ 6'$. Very bright; large; round; pretty suddenly much brighter in the middle. (In der Andromeda.)

No. 428. $AR = 1^h\ 44^m$ $D = + 40^0\ 2'$. Fine nebulous star with strong atmosphere. (In der Andromeda.)

No. 826. $AR = 4^h\ 8^m$ $D = - 13^0\ 6'$. Very bright cluster. (Im Eridanus.)

Alle diese Objecte lieferten im Gesichtsfelde des Spectralapparates ein Spectrum, welches im Allgemeinen demjenigen eines Fixsternes glich. Man konnte je nach der vorhandenen Lichtstärke

mehr oder weniger dunkle Linien wahrnehmen, wogegen von der, bei obigen planetarischen Nebeln so characteristischen, hellen Linie durchaus nichts zu sehen war.

71.

Es bedarf nach den vorangeschickten allgemeineren Betrachtungen kaum der Erwähnung, dass wir, gemäss den Gesetzen der Analogie, jene hervorgehobene Differenz in den Spectren planetarischer und andrer Nebel, lediglich als durch verschiedene Stadien ein und desselben Entwickelungsprozesses verursacht, zu betrachten haben. Bei den planetarischen Nebeln haben wir es noch mit jener primitiven, glühenden Gasmasse zu thun, welche sich bei fortdauernder Wärmeausstrahlung zu glühenden Kugeln mit weit ausgedehnten Atmosphären condensirt, die alsdann, mit Rücksicht auf den KIRCHHOFF'schen Satz von der Beziehung zwischen Emission und Absorption, nothwendig die Veranlassung zum Entstehen von Absorptionsspectren werden müssen.

Dass die ursprüngliche, glühende Dunstmasse, aus welcher sich unser Planetensystem entwickelt hat, als eine bewegte, und zwar rotirende, vorausgesetzt werden muss, um in der einfachsten Weise die gleichgerichtete Rotation der Sonne und Planeten um ihre Axen zu erklären, ist zur Genüge erörtert worden. Indem wir diese Eigenschaft auch auf alle übrigen, uns sichtbaren Nebelmassen übertragen, und für alle Fixsterne die gleiche Entwickelungsgeschichte, wie für unsere Sonne, voraussetzen, gelangen wir zu der Annahme, dass wahrscheinlich alle Fixsterne eine Rotation um ihre Axe haben.

Ich glaube nun behaupten zu dürfen, dass man unter der Voraussetzung dieser Rotation und der ursprünglich glühenden Beschaffenheit aller Himmelskörper im Stande ist, das Wesentliche und Allgemeine sämmtlicher Erscheinungen, welche uns dieselben ausser ihren Ortsveränderungen darbieten, lediglich als bedingt durch verschiedene Stadien ein und desselben Entwickelungsprozesses darzustellen, welcher durch fortdauernde Wärmeausstrahlung und eine dem entsprechende Abkühlung der primitiven Dunstkugel im Gange erhalten wird.

Unter dem Wesentlichen oder Allgemeinen einer bestimmten Erscheinung verstehe ich hierbei diejenige Eigenschaft oder dasjenige Attribut derselben, welches sie, als zu einer besondern Gattung gehörig, von andern Erscheinungen unterscheidet und als solche wesentlich characterisirt.

Man muss es entschieden als einen logischen Fehler und einen Verstoss gegen die Gesetze der inductiven Methode betrachten, wenn auf Kosten des Verständnisses der wesentlichen und allgemeinen Eigenschaften eines Naturkörpers Hypothesen zur Erklärung seiner besonderen Qualitäten aufgestellt werden.

So besteht z. B. die wesentliche Eigenschaft der Sonne in ihrer fortdauernd ungeheuren Licht und Wärmeentwickelung. Sie ist durch die Intensität dieser Entwickelung von allen übrigen uns bekannten Naturkörpern wesentlich unterschieden. Das Vorhandensein von Flecken auf ihrer Oberfläche dagegen, welche bezüglich ihrer Penumbren gesetzmässige Veränderungen zeigen, ist offenbar eine im Verhältniss zur erwähnten sehr untergeordnete Eigenschaft, und eine Hypothese, welche, wie die Photosphären-Theorie, lediglich diese letztere Eigenschaft erklären will, hierbei aber durch das Abenteuerliche ihrer Voraussetzungen von vornherein jedes physikalische Verständniss der erwähnten wesentlichen Eigenschaften des Sonnenkörpers ausschliesst, macht sich nothwendig des oben gerügten Denkfehlers schuldig. Die schnelle und allseitige Verbreitung, welche jene Hypothese aus dem Munde eines hochberühmten Mannes unter den Astronomen gefunden hat, wird dereinst Zeugniss ablegen, wie unsere Zeit trotz ihrer Ueberlegenheit an instrumentalen Hülfsmitteln und der Fülle an aufgespeichertem Beobachtungsmaterial, doch hinsichtlich einer klar bewussten Anwendung logisch-inductiver Principien hinter dem Zeitalter NEWTON's zurücksteht.

Bei den veränderlichen Sternen ist offenbar die Veränderung der ausgesandten Lichtmenge das Wesentliche und Allgemeine der Erscheinung, wogegen die Veränderung in bestimmter Periodicität, die Zu- oder Abnahme dieser Periode, die Unterschiede in der Schnelligkeit des Wachsens und Abnehmens der Helligkeit u. s. w. besondere Bestimmungen und Attribute jener allgemeinen Eigenschaft der Veränderlichkeit sind.

Gelingt es uns also, eine Veränderlichkeit auf der angegebenen Basis nicht nur zu erklären, sondern sogar als eine unumgänglich nothwendige Erscheinungsform einer bestimmten Entwickelungsphase eines jeden Weltkörpers darzustellen, so werden wir diese Art der Erklärung unter allen möglichen als die wahrscheinlichste zu betrachten haben, selbst wenn es uns niemals gestattet sein sollte, sei es aus dem Mangel an genügenden Analogien oder der Beschränktheit unseres Verstandes, jene besonderen Eigenthümlichkeiten in der Veränderlichkeit des Sternlichtes erschöpfend zu erklären.

Es gilt hierbei ganz dasselbe, was bereits früher in Betreff der Sonnenflecke bemerkt wurde. Die Annahme einer glühenden Beschaffenheit der Sonne oder wenigstens einer solchen, welche ihre Licht- und Wärmeentwickelung nach uns bekannten Analogien begreiflich macht, muss unter allen Umständen die Basis für alle Theorien der Sonnenflecken sein, selbst wenn es aus den angeführten Gründen nie gelingen sollte, eine genügende Erklärung der Penumbren und ihrer eigenthümlichen Veränderungen in der Nähe des Sonnenrandes zu geben.

72.

Unter Voraussetzung einer ursprünglich glühenden und rotirenden Dunstmasse, welche die wesentlichen der uns bekannten Stoffe im gasförmigen Aggregatzustande enthält, lassen sich bei fortdauernd stattfindender Wärmeausstrahlung fünf Perioden oder Entwickelungsphasen eines Weltkörpers unterscheiden:

Erstens, die Periode des glühend-gasförmigen Zustandes.

Zweitens, die Periode des glühend-flüssigen Zustandes.

Drittens, die Periode der Schlackenbildung oder der allmäligen Entwickelung einer kalten, nicht leuchtenden Oberfläche.

Viertens, die Periode der Eruptionen oder der gewaltsamen Zersprengung der bereits kalt und dunkel gewordenen Oberfläche durch die innere Gluthmasse.

Fünftens, die Periode der vollendeten Erkaltung.

In diesen verschiedenen Entwicklungsphasen muss ein Weltkörper einem entfernten Beobachter verschiedene Erscheinungen darbieten.

Die erste Periode liefert uns die bereits oben besprochene Erscheinung planetarischer Nebel, welche im Spectroskop helle Linien zeigen.

Beim Uebergangsstadium zur zweiten Entwickelungsphase werden in jenen Nebelmassen bereits die Anfänge der stattgefundenen Condensation als ein oder mehrere schwache Sternchen wahrnehmbar sein, wie dies bei mehreren der von HUGGINS und MILLER beobachteten und oben angeführten planetarischen Nebeln der Fall war. Es ist bemerkenswerth, dass sich alsdann jedesmal, ausser der hellen Linie, welche von der glühenden Gasmasse ausging, auch noch ein feines Absorptionsspectrum mit duuklen Linien zeigte, welches, je nach der Intensität des im Nebel vorhandenen Sternes, mehr oder weniger deutlich war. Hierauf Bezug nehmend bemerkt HUGGINS:

> »Subsequent observations on other nebulae induce me to regard this faint spectrum as due to the solid or liquid matter of the nucleus, and as quite distinct from the bright lines into which nearly the whole of the light from the nebula is concentrated.« (p. 438. l. c.)

Die zweite Periode wird repräsentirt durch alle Fixsterne, welche keine wahrnehmbaren Helligkeitsveränderungen zeigen. Dass hierbei der Begriff der Unveränderlichkeit nur ein relativer, und lediglich auf die kurze Spanne Zeit unserer Beobachtungen und die Unvollkommenheit der bisherigen photometrischen Hülfsmittel beschränkter ist, bedarf nach der aufgestellten Entwickelungstheorie nicht einer besonderen Erwähnung.

Der Uebergang zur dritten Entwickelungsperiode muss, nach der Analogie aller uns bekannten Abkühlungsprozesse, von bestimmten Aenderungen in der Intensität und Farbe des ausgesandten Lichtes begleitet sein. Wir wissen, dass alle uns bekannten Körper vom glühenden in den nicht glühenden Zustand durch das Stadium der Rothgluth übergehen, und dass sie demgemäss ausser der allmäligen Abnahme des Lichtes auch eine Farbenänderung in dem angedeuteten Sinne erleiden müssen.

Die gleichzeitig mit diesen Erscheinungen fortschreitende Schlakkenbildung muss bei der vorausgesetzten Rotation sämmtlicher Fixsterne nothwendig das Phänomen periodisch veränderlicher Sterne erzeugen. Als eine Stütze für die Richtigkeit dieser Ansicht kann

hervorgehoben werden, dass sich hierdurch in der ungezwungensten Weise die merkwürdige Thatsache erklärt, dass die überwiegende Mehrzahl aller veränderlichen Sterne eine rothe Farbe zeigt.

Rothgluth und Schlackenbildung sind gleichzeitige Erscheinungen derselben Entwicklungsphase und simultane Wirkungen ein und derselben Ursache, nämlich eines bestimmten Temperaturzustandes der sich abkühlenden Weltkörper.

73.

Die dritte Periode, deren wesentlichste Erscheinungen so eben in kurzen und allgemeinen Umrissen characterisirt wurden, umfasst bei Weitem die Mehrzahl derjenigen Erscheinungen, welche wir ausser der Ortsveränderung an verschiedenen Himmelskörpern wahrnehmen, und erheischt daher an dieser Stelle eine ausführlichere und eingehendere Betrachtung, als dies bei Behandlung der übrigen Entwickelungsphasen erforderlich ist.

Zunächst muss hervorgehoben werden, dass die Farbe eines Fixsternes, ausser von dem Grade des Glühens seines feurig-flüssigen Kernes auch noch von der Absorptionsfähigkeit seiner Atmosphäre für Strahlen verschiedener Brechbarkeit abhängig ist.

Huggins und Miller betrachten diese Atmosphäre als die einzige oder doch wesentlichste Ursache der verschiedenen Farben der Fixsterne, obschon, wie oben bemerkt, bei fortschreitendem Erkaltungsprozesse nothwendig auch die Farbe des glühend-flüssigen Kernes in dem angedeuteten Sinne sich bemerklich machen muss.

Mit Berücksichtigung dieses Umstandes leuchtet ein, dass die rothe Farbe eines Sternes nicht nothwendig als das Zeichen einer mehr vorgeschrittenen Abkühlung zu betrachten ist. Es würde dies nur dann gestattet sein, wenn die Sternfarben allein dem glühenden Kerne ihr Entstehen verdankten, was jedoch nach den Untersuchungen von Huggins und Miller unstatthaft ist. Dieselben unterwarfen nämlich eine, allerdings nur geringe, Anzahl entschieden rother Sterne der Spectralanalyse und fanden hier in dem grünen und blauen Theile des Spectrums eine grössere Menge dunkler Linien als dies im Allgemeinen bei einem weissen Sterne, wie z. B. beim Sirius, der Fall ist.

Ausserdem würde aber auch, wollte man den angedeuteten Einfluss der Fixsternatmosphären auf die Sternfarben unberücksichtigt lassen, die allmälige Verwandlung eines rothen Sternes in einen weissen, wie sie beim Sirius geschichtlich hinlänglich sicher verbürgt zu sein scheint[1]), sehr schwer zu erklären sein.

Dagegen bedarf es bei dem erwähnten Einfluss der Atmosphären nur der Annahme, dass in Folge der vorgeschrittenen Abkühlung solche schwerer flüchtigen Stoffe sich niedergeschlagen oder condensirt haben, welche bei ihrer Anwesenheit in der Sirius-Atmosphäre vorzugsweise im grünen und blauen Theile des Spectrums zahlreiche und dunkle Absorptionslinien erzeugten. Man kennt aus vielfachen Beobachtungen im Gebiete irdischer Erscheinungen die Schnelligkeit, mit welcher der Aggregatzustand eines Körpers sich als Function der Temperatur ändert, sobald dieselbe sich einer Grenze nähert, an welcher der Uebergang zweier solcher Zustände stattfindet. Es würde aus diesem Umstande begreiflich sein, wie gerade derartige Veränderungen schon in Zeiträumen stattfinden könnten, gegen welche die seit dem Erscheinen des Menschengeschlechtes auf der Erde verflossene Zeit nicht mehr als eine verschwindende Grösse zu betrachten ist. Letzteres muss bezüglich der Dauer der einzelnen Entwickelungsperioden der Weltkörper nothwendig angenommen werden.

Insofern also die rothe Farbe eines Fixsterns durch die hier angegebenen Umstände bedingt sein kann, darf die oben als Thatsache der Beobachtung angeführte und erklärte Erscheinung des Vorherrschens der rothen Farbe bei allen veränderlichen Sternen nicht zu einer umgekehrten Folgerung benutzt werden, indem man behauptet, alle rothen Sterne müssten auch veränderlich sein. Es wäre dieser Schluss schon deshalb unrichtig, weil ein glühender, theilweis mit Schlacken bedeckter, und rotirender Fixstern nur dann für uns das Phänomen eines periodisch veränderlichen Lichtglanzes hervor-

---

1) PTOLEMÄUS giebt in seinem Kataloge dem Sirius das Beiwort »ὑπόκιῤῥος«, welches feuerröthlich bedeutet. SENECA bezeichnet den Sirius röther als Mars (Nat. Quaest. I, 1), und da Mars im Almagest unter den Sternen aufgeführt wird, welche mit ὑπόκιῤῥοι bezeichnet werden, so ist nicht zu zweifeln, dass jenes Wort wirklich ein Vorherrschen der rothen Farbe bedeutet. Vergl. HUMBOLDT, Kosmos III, p. 204.

bringen kann, wenn seine Rotationsaxe nahezu senkrecht zur Sehrichtung steht.

Im Uebrigen ist klar, dass durch diese Erklärung der Veränderlichkeit der Sterne nicht die Möglichkeit einer in einzelnen Fällen durch andre Umstände bewirkten Veränderung ausgeschlossen wird, wie z. B. beim Algol, der kein rother Stern ist, durch den Umlauf eines weniger stark leuchtenden oder dunklen Körpers.

74.

Wegen der Unvollkommenheit der bisher angewandten photometrischen Hülfsmittel muss die Schlackenbildung bereits eine sehr vorgeschrittene sein, damit sie, unter Voraussetzung der Rotation des Sternes, die Veranlassung zu merkbaren Intensitätsänderungen desselben wird. Dagegen gestattet uns aber die Nähe und Grösse der Sonne, die ersten Anfänge des Schlackenbildungsprozesses auf anderem als photometrischen Wege zu beobachten.

Diese Anfänge können sich unseren Blicken nicht anders als durch das Erscheinen kleiner, relativ dunkler Stellen ankündigen, welche, an kälteren Stellen entstanden, in Folge ihrer relativen Kleinheit einerseits und der gewaltigen Bewegungen auf der feurig-flüssigen Oberfläche des Sonnenkörpers anderseits, an wärmeren Stellen sich wieder in der allgemeinen Gluthmasse auflösen.

Wir beobachten diese Erscheinungen, wie ich glaube, in den sogenannten Sonnenflecken. Ich kann daher die Ansicht KIRCHHOFF's nicht theilen, welcher den dunklen Kern dieser Flecken als eine Wolke aus condensirten Metalldämpfen ansieht, über welcher sich in Folge der hierdurch nach oben verminderten Wärmeausstrahlung in gewissem Abstande eine zweite, weniger dichte Wolke bildet, die alsdann zur Erklärung der Penumbren und ihrer gesetzmässigen Veränderung am Sonnenrande dienen soll[1]).

Mir scheint die Annahme jener zweiten Wolke etwas erkünstelt, um so mehr, da man bei Voraussetzung der schlackenartigen Beschaffenheit des dunklen Kernes offenbar schon mit einer Wolke

---

1) G. KIRCHHOFF, Untersuchungen über das Sonnenspectrum. Abhandl. d. Berl. Acad. 1861 p. 87.

über demselben ausreicht, um alle Erscheinungen der Penumbren ganz in der von KIRCHHOFF angegebenen Weise begreiflich zu machen.

Uebrigens glaube ich hierbei bemerken müssen, dass man bei allen bisher aufgestellten Theorien der Sonnenflecken den Einfluss der Refraction der Sonnenatmosphäre auf die Gestalt der an ihrer Oberfläche wahrgenommenen Objecte mit Unrecht gänzlich vernachlässigt hat. Selbst wenn die Penumbra in gleichem Niveau mit dem dunklen Kerne auf der Sonnenoberfläche sich befände, so würde man im Stande sein, lediglich durch Annahme einer hinreichend starken Refraction, sowohl die Vergrösserung des dem Sonnenrande zugekehrten Theils der Penumbra als auch jene scheinbaren Vertiefungen zu erklären, welche sich am Sonnenrande öfter an der Stelle zeigen, wo in Folge der Rotation ein Fleck verschwindet.

Die interessanten Resultate, zu denen KUMMER in seiner Abhandlung »über atmosphärische Strahlenbrechung«[1] gelangt ist, scheinen mir die Berücksichtigung der Refraction des Lichtes in der Sonnenatmosphäre für jede Hypothese über die Sonnenflecken durchaus nothwendig zu machen.

Es sind zwei Umstände, welche die Dichtigkeit der Sonnenatmosphäre als Function ihrer Höhe modificiren: die Schwerkraft und die hohe Temperatur an der Oberfläche der Sonne. Da beide Ursachen im entgegengesetzten Sinne wirken, so wird das Maximum der Dichtigkeit, und folglich auch des Brechungsvermögens, nicht an der Oberfläche, sondern in einem gewissen Abstande über derselben sich befinden. Durch diese Eigenthümlichkeit müssen die von Objecten an der Sonnenoberfläche ausgesandten Strahlen jedenfalls Ablenkungen in ihrer Richtung erleiden, welche unter Umständen die Veranlassung zu mancherlei optischen Täuschungen werden können.

So lange die Schlacken noch nicht durch grössere Ausdehnung und Consistenz in ihrer Beweglichkeit auf der feurig-flüssigen Sonnenoberfläche gehemmt sind, werden sie, analog den erratischen Felsblöcken in schwimmenden Eisschollen, vermöge der Centrifugalkraft des rotirenden Sonnenkörpers nach den Aequatorialgegenden getrieben

---

1) KUMMER, Ueber atmosphärische Strahlenbrechung. Monatsberichte d. Berl. Acad. 1860. p. 405 — 420.

werden, wie denn in der That die überwiegende Mehrzahl der Sonnenflecken nur in einer bestimmten Aequatorialzone beobachtet wird.

Man wird demnach die Bildung von Sonnenflecken, wenn man diesen Namen auch auf andere Fixsterne zur Bezeichnung der beginnenden Schlackenbildung anwendet, als ein Uebergangsstadium der zweiten zur dritten Entwickelungsperiode betrachten können.

75.

Der Uebergang der dritten zur vierten Periode kann sich bei einem Fixsterne unsern Blicken nur durch das allmälige Verschwinden desselben bemerklich machen. Es ist bekannt, dass dieses Phänomen bei einigen Sternen in der That beobachtet worden ist, obschon nach dem Urtheile ARGELANDER's die Ueberzeugung der Gewissheit, dass ein Stern an dem Himmel wirklich seit einer bestimmten Epoche verschwunden ist, nur bei grosser Sorgfalt zu erlangen ist, indem Beobachtungs-, Reductions- und Druckfehler oft die besten Kataloge entstellen.

Anders dagegen verhält es sich mit den Erscheinungen der vierten oder Eruptionsperiode. Durch das plötzliche und gewaltsame Zerreissen einer bereits bis zum Nichtglühen erkalteten Schlackendecke, muss nothwendig die von dieser Decke eingeschlossene Gluthmasse hervordringen, und auf diese Weise, je nach der Grösse ihrer Ausbreitung, mehr oder weniger grosse Stellen des bereits dunklen Körpers, wieder leuchtend machen.

Einem entfernten Beobachter kann sich eine solche Begebenheit nicht anders als durch das *plötzliche Aufleuchten eines neuen Sternes* ankündigen.

Ein solches Aufleuchten neuer Sterne gehört nun zu den sicher und zuverlässig verbürgten Thatsachen der Beobachtung. Man zählt in den drei Jahrhunderten von 1500 bis 1800 das plötzliche Erscheinen von nicht weniger als acht solcher neuen Sterne, unter denen der berühmte TYCHONI'sche Stern in der Cassiopeja das bekannteste und für die vorliegenden Betrachtungen auch lehrreichste Beispiel ist.

Wir verdanken TYCHO ausführliche und genaue Mittheilungen, sowohl über die Unveränderlichkeit der Position, als auch namentlich

über die Veränderungen der Helligkeit und Farbe jenes merkwürdigen Sternes bis zu seinem Verschwinden.

TYCHO sagt bezüglich desselben[1]):

» . . . confestim adapto instrumento, ejus situm atque distantiam a vicinis Cassiopejae stellis demetiri, aggressus sum, eaque quae circa magnitudinem visibilem, formam, colorem ceterasque habitudines oculis patebant, diligentius denotare.«

Der Stern wurde von TYCHO zuerst am 11. November 1572 gesehen: »Ego primum die 11 Novembris, quum praecedentibus nonnullis aër in nostro horizonte minus defaecatus fuisset, illam conspexi . . .« heisst es in der unten citirten Schrift.

Von der ausserordentlichen Helligkeit, welche dieser Stern beim Beginn seiner Erscheinung besessen haben muss, geben uns folgende Worte TYCHO's Zeugniss:

»Magnitudo autem ejus apparens, ab initio omnes fixas stellas, etiam primi honoris, adeoque ipsam Caniculam et Lyram excedebat. . . . ita ut Veneris facem, quum telluri vicinior ampliore vultu collucet, quam proxime aemularetur.«

Die allmälige Abnahme der Intensität und die Aenderung der Farbe in den nächsten Monaten wird alsdann folgendermassen beschrieben (p. 301 l. c.):

»Per Decembre Jovis sidus ferme aemulabatur. Januario sequentis anni Jove paulo minor, stellisque fulgentioribus primi ordinis aliquanto major fulsit: quibus in Februario et Martio aequalis exstitit. Sic Aprili et Majo stellas secundae magnitudinis referebat, successiveque ita decrescendo, per Junium, in Julio et Augusto fixis tertiae qnantitatis par fuit: adeo at tunc majoribus in Cassiopeja stellis, quae etiam tertii status censentur, quam simillima foret; postea per Septembrem magis magisque extenuata Octobri et Novembri quartas in ordine stellas repraesentabat, tuncque, praesertim mense Novembri, undecimae illi Cassiopejae stellae, cui proxima erat, non dispar cernebatur; ita ut una ab altera insensibiliter discerneretur. Porro in fine ejus anni et Januario sequentis, stellas quintae formae vix excedebat. In Februa-

1) TYCHONIS BRAHE, stronomiae instauratae Progymnasmata. Francofurti apud Godefridum Tampachium MDCX, p. 299 ff.

rio sextas et minimas quasque adumbrabat, donec ultimo mense Martio adeo exilis reddita sit, ut conspici ulterius prorsus desineret.«

Ueber die gleichzeitig mit dieser Helligkeitsabnahme stattfindenden Farbenänderungen heisst es nun weiter:

»Quemadmodum vero interea dum exstabat, quantitatem corporis visibilem alteravit, paulatim hanc imminuendo: sic etiam lucis insitae colorem, non eundem ubique exhibuit, sed ab initio, quando Veneri et Jovi magnitudine par videbatur, albicanti, claro, splendentique lumine, gratoque et jucundo vultu iisdem beneficis planetis aequiparandae, assimilabatur. Postea hoc nitens jubar in flavescentem quandam tincturam permutabat, ita ut circa initium verni temporis anni 1573, in Martiam quandam rutilantiam, ob lumen forte jam magis coarctatum et inspissatum, degenerarit. Tunc enim instar Aldeborae, aut ei, quae est in dextro humero Orionis rubescebat; neque tamen tam rutila apparuit, atque ea, in dicto Orionis humero, sed propius colore Aldeboram accessit. Dehinc juxta veris exitum, mense praesertim Majo, albedinem quandam sublividam induebat, qualis Saturni stellae subesse videtur, quem colorem postmodum usque ad disparitionem ferme servabat, nisi quod, quo fini magis appropinquaret, eo eundem turbidiorem et hebetiorem obtusioremque successive redderet.«

Man sieht also, dass jener Stern in desto röthlicherem Lichte erglänzte, je schwächer er wurde, eine Erscheinung, die vollkommen mit den Eigenschaften einer ursprünglich weissglühenden und allmälig erkaltenden Masse übereinstimmt.

In Betreff jener »albedo sublivida«, durch welche Tycho wieder eine mehr weisslichrothe Farbe andeutet, sei es mir gestattet, hier eine Beobachtung anzuführen, die ich mit Hülfe meines Colorimeters gemacht und bereits auch von andern Personen mit Anwendung desselben Instrumentes bestätigt gefunden habe.

Vergleicht man die Farbe des Saturn in seiner diesjährigen Position und Helligkeit mit Arctur, so erscheint dieser Stern, abgesehen von seiner grösseren Helligkeit, im Vergleich zum Saturn entschieden röthlich. An drei Tagen des letztvergangenen April (16., 20. und 23.) bestimmte ich photometrisch den erwähnten Helligkeitsunterschied und fand durchschnittlich den Arctur etwa dop-

pelt so hell als Saturn. Die Höhe Saturns betrug hierbei im Mittel c. 24°, die des Arctur c. 47°. Das angeführte Helligkeitsverhältniss ist das scheinbare und noch nicht vom Einfluss der Höhe befreite. Gleichzeitig bestimmte ich auch die Farbe der beiden Sterne, wobei nach der Construction meines Colorimeters den künstlichen Sternen ausser der gleichen Farbe auch eine gleiche Helligkeit mit dem zu beobachtenden Sterne ertheilt wurde.

Ich war nun überrascht, den Saturn nicht nur weniger roth als Arctur, wie es die Beobachtung mit freiem Auge zeigt, sondern sogar etwas röther als diesen Stern zu finden.

Dieser Unterschied zwischen der colorimetrischen Bestimmung und der Beurtheilung der Farbe mit unbewaffnetem Auge rührt von dem Einfluss her, welchen die Intensität eines Lichteindruckes auf die Schätzung seiner Farbe ausübt[1]), ein Einfluss, welcher bei der colorimetrischen Bestimmung mit meinem Instrumente eliminirt wird. Hieraus folgt also, dass ein Theil des Farbenunterschiedes verschieden heller Sterne rein subjectiver Natur ist, indem der hellere Stern für röthlicher, der schwächere aber für bläulicher gehalten wird, als dies bei gleicher Intensität der verglichenen Sterne der Fall sein würde.

Wenn demnach TYCHO in seinen oben angeführten Worten die Farbe des neuen Sternes, als er bereits bis zur 2. bis 3. Grösse herabgesunken war, (Mai und Juni 1573), mit derjenigen Saturns vergleicht, so muss dieses scheinbare Abnehmen der rothen Farbe nach dem Obigen, wenn nicht ganz, so doch grösstentheils als subjectiv, und lediglich von der Intensitätsabnahme des Sternes herrührend, betrachtet werden.

---

1) Jener Einfluss der Intensität auf die Farbe ist von PURKINJE, DOVE und am sorgfältigsten von HELMHOLTZ (Pogg. Ann. XCIV, 18—21) untersucht worden, wie ich dies bereits in der Einleitung zu meiner Photometrie des Himmels p. 5 hervorgehoben habe. — Man kann diesen Einfluss mit Hülfe meines Photometers und Colorimeters in überraschender Weise zur Anschauung bringen, wenn man das Instrument auf einen Stern richtet, und dem künstlichen Sterne im Photometer gleiche Farbe und Intensität mit dem natürlichen Sterne ertheilt. Lässt man jetzt die Intensität des künstlichen Sterns wachsen, so wird derselbe gleichzeitig röthlich im Vergleich zum natürlichen, im umgekehrten Falle aber, bei abnehmender Intensität, bläulich.

Jedenfalls sind aber die von Tycho beobachteten Farbenänderungen seines Sternes objectiver Natur gewesen, da sie subjestiv, durch Intensitätsänderung bedingt, geradezu in umgekehrter Ordnung hätten auf einander folgen müssen.

Dass die Lichtentwickelung, unter Voraussetzung der oben von mir gemachten Annahme über die Ursache jenes Phänomens, eine so ausserordentlich grosse gewesen ist, würde sich aus dem Umstande erklären lassen, dass alle die chemischen Verbindungen, die sich bereits unter dem Einfluss einer niedrigen Temperatur an der Oberfläche gebildet hatten, durch das plötzliche Hervorbrechen der inneren Gluthmasse wieder zersetzt wurden, und diese Zersetzung, wie bei irdischen Körpern, mit einer Licht- und Wärmeentwickelung von Statten ging. Es wäre demnach das starke Aufleuchten nicht nur den, durch die hervorgequollene Gluthmasse wieder leuchtend gewordenen, Theilen der Oberfläche zuzuschreiben, sondern gleichzeitig einer Art Verbrennungsprozess, der durch die Berührung bereits erkalteter Verbindungen mit der glühenden Masse des Innern eingeleitet wurde.

Unter den plötzlich erschienenen und nach kurzer Zeit wieder verschwundenen Sternen ist nächst dem soeben angeführten derjenige vom Jahre 1604 im Schlangenträger der bedeutendste gewesen und stimmte nach dem Urtheile Kepler's mit dem Tycho'schen in seinen Eigenschaften im Wesentlichen überein. In Kepler's Schrift: »De stella nova in pede Serpentarii, Pragae MDCVI« heisst es p. 6 bei Beschreibung der Farbe und Grösse des Sternes: »Quo saepius autem relego, quae Tycho Brahe tomo 1. Progymnasmatum pag. 300 de novo sidere, quod anno 1573 fulsit in Cassiopeja, scripsit, hoc propius adducor, ut credam, nostrum hoc omnibus omnino attributis cum illo quam proxime convenire.«

Auch hier scheint also ein ähnlicher Farbenwechsel wie beim Tycho'schen Sterne stattgefunden zu haben, obschon die Bemerkungen, welche Kepler direct über die Farben seines Sternes macht, sich mehr auf die beim Scintilliren entstehenden zu beziehen scheinen.

Wenn sich in Zukunft wieder ein derartiges Phänomen ereignen

sollte und der Glanz nicht, wie beim HIND'schen Stern[1]), zu schwach ist, so werden Spectralanalyse, Colorimetrie und Photographie entscheiden können, ob die oben aufgestellte Hypothese über die physische Ursache des plötzlichen Aufleuchtens neuer Sterne auch im Stande ist, die bei jenen Beobachtungen sich ergebenden Einzelheiten zu erklären.

Mit der in Obigem ihren allgemeinen Zügen nach geschilderten Eruptionsperiode ist die Entwickelung eines Fixsterns für unsere Sinne beschlossen. Die Abkühlung schreitet allmälig weiter fort und die hierdurch an Dicke und Festigkeit immer mehr zunehmende dunkle Rinde wird endlich im Stande sein, den inneren Spannkräften das Gleichgewicht zu halten, so dass weitere Eruptionen nicht mehr stattfinden können. Unter diesen Umständen und bei Abwesenheit einer äusseren Licht- und Wärmequelle erfolgt an der Oberfläche eine sehr schnelle Temperaturerniedrigung, die es auch den Wasserdämpfen gestattet, sich niederzuschlagen, so dass sich schliesslich, bei immer weiter fortgeschrittener Abkühlung, der ganze Körper des ehemaligen Fixsterns mit einer ungeheuren Schnee- und Eiskruste bedeckt. Dieser Zustand der Erstarrung kann nur durch äussere Einflüsse, wie z. B. durch die beim Zusammenstoss mit einem anderen Körper entwickelte Wärme, wieder aufgehoben werden, wo alsdann, bei hinreichender Temperaturerhöhung, der geschilderte Entwickelungsprozess von Neuem beginnt.

76.

Durch die hier dargelegte Entwickelungstheorie glaube ich die mir oben gestellte Aufgabe in so weit gelöst zu haben, als hierdurch alle uns an Himmelskörpern[2]) ausser ihrer Ortsveränderung bekannten Erscheinungen im Allgemeinen erklärt, und lediglich als verschiedene Stadien ein und desselben Entwickelungsprozesses dargestellt werden. Eine wesentliche Stütze scheint mir diese Theorie,

---

1) HIND entdeckte 1848, April 28, einen neuen röthlich gelben Stern 5. Grösse im Schlangenträger: $AR = 16^h\ 50'\ 59''$ $D = -12^\circ\ 39'\ 16''$. Vgl. Monthly Notices of the Astr. Soc. Vol. VIII, p. 146 u. 155—158, welcher gegenwärtig unter die Veränderlichen gezählt wird.

2) Mit Ausnahme der Kometen.

abgesehen von ihrer Einfachheit, noch dadurch zu erhalten, dass man in jenen fünf Entwickelungsphasen ungezwungen die verschiedenen Perioden wiedererkennt, welche nach den Ergebnissen der Geologie der von uns bewohnte Planet bereits durchlaufen hat. Sieht man daher bei der Erde von ihrer Erleuchtung durch die Sonne ab, so würde sie in den verschiedenen Stadien ihrer geologischen Entwickelung einem entfernten Beobachter analoge Erscheinungen dargeboten haben, wie man sie gegenwärtig bei der Sonne als Sonnenflecken, bei andern Fixsternen als periodischen Licht- und Farbenwechsel, allmäliges Verschwinden und als plötzliches Aufleuchten neuer Sterne beobachtet.

Es wurde bereits oben bemerkt, dass sich nach der hier aufgestellten Hypothese das Vorherrschen der rothen Farbe bei der Mehrzahl der veränderlichen Sterne in ungezwungener Weise dadurch erklären lasse, dass eine grössere und ausgedehntere Schlackenbildung nothwendig auch eine schon mehr vorgeschrittene Abkühlung voraussetze, in der alsdann die glühend-flüssige Masse des Sternes bereits in das Stadium der beginnenden Rothgluth getreten sei.

Eine zweite, wie es scheint, ebenfalls bei der Mehrzahl der veränderlichen Sterne vorkommende Erscheinung ist das schnellere Anwachsen der Helligkeit bis zum Maximum, und das langsamere Abnehmen derselben bis zum Minimum.

Da nach unserer Hypothese die Form der Helligkeitscurve eines veränderlichen Sternes wesentlich nur durch die Gestalt und Anordnung der Schlackenmassen auf der Oberfläche des rotirenden Körpers bedingt sein kann, so würde die oben erwähnte Erscheinung der schnelleren Helligkeitszunahme eine Beziehung zwischen der Schlackenformation und der Rotationsrichtung andeuten.

Es fragt sich, ob man im Stande ist, eine solche Beziehung physikalisch zu rechtfertigen, und ob, wenn dies der Fall ist, ihr Einfluss auf die Anordnung der Schlackenmassen ein derartiger ist, dass hierdurch die erwähnte Erscheinung eine genügende Erklärung findet.

Es stelle Fig. 1, Taf. VII eine in der Richtung des Pfeiles um die Axe NS rotirende feurig-flüssige Kugel dar, auf deren Oberfläche sich in Folge einer bereits vorgeschrittenen Abkühlung an

verschiedenen Stellen Schlacken bilden, die in der glühend-flüssigen Masse frei herumschwimmen.

In Folge der Centrifugalkraft werden die an den Polen gebildeten Schlackenmassen, nach Analogie der erratischen Felsblöcke in schwimmenden Eisschollen, den Aequatorialgegenden genähert. Indem dies geschieht, gelangen aber die Schlacken in Regionen der Flüssigkeit, welche eine grössere reelle Geschwindigkeit besitzen als die an den Polen befindlichen, wo sie entstanden sind. Demgemäss können die sich dem Aequator nähernden Schlacken nicht in demselben Meridian bleiben, sondern müssen auf ihrem Wege successiv eine der Rotationsrichtung entgegengesetzte Ablenkung erfahren, wie dies in der Figur durch die Buchstaben *a, b, c* angedeutet ist. Es verhält sich also die glühend-flüssige Masse den allmälig sich consolidirenden Schlackenmassen gegenüber wie ein Strom, welcher in entgegengesetztem Sinne der Rotation, mit nach dem Aequator zunehmender Geschwindigkeit, die Schlackenmasse zu durchbrechen bestrebt ist. Diese eigenthümlichen Bewegungsverhältnisse können selbstverständlich nicht ohne Einfluss auf die Anordnung der Schlakkenmassen bleiben, und ich glaube mich nicht zu irren, wenn ich annehme, die hierdurch bewirkte Vertheilung zwischen leuchtender und nicht leuchtender Masse sei im Allgemeinen von der in Fig. 1 angegebenen Gestalt.

An irgend einer Stelle muss alsdann nothwendig eine Art Stauung der Schlackenmassen eintreten, so dass die grösste Flächenausdehnung der leuchtenden und der nicht leuchtenden Theile unter irgend einem Meridian, z. B. bei *d*, an einander grenzen. Bei einer derartigen Anordnung wird aber, unter Voraussetzung einer Rotation im angedeuteten Sinne, der Uebergang vom Minimum der Helligkeit zum Maximum schneller als umgekehrt stattfinden müssen.

Es sei hier übrigens bemerkt, dass sich auch auf die Anordnung der Sonnenflecken ein Einfluss der Sonnenrotation in unverkennbarer Weise bemerklich macht.

Sir John Herschel sagt in seinen »Outlines of astronomy« (5. ed.) p. 251 bei Besprechung der Vertheilung und Grösse der Sonnenflecken Folgendes:

»These circumstances . . . . point evidently . . . to a general influence of its rotation on its axis as determining cause of their

distribution and arrangement, and would appear indicative of a system of movements in the fluids which constitute its luminous surface bearing no remote analogy to our trade-winds from whatever cause arising.«

Um nun die durch die angegebene Vertheilung der Schlacken auf der Oberfläche eines rotirenden Fixsterns erzeugten periodischen Lichtänderungen empirisch zu prüfen, habe ich auf einer Kugel von 30 Millimeter im Durchmesser die leuchtenden Theile mit weisser, die dunklen mit schwarzer Kreide verzeichnet, so dass Fig. 1, Taf. VII diese Kugel in einer bestimmten Lage darstellt.

Mit Hülfe des Photometers, Fig. 2, Taf. III, dessen ich mich bei meinen Sonnen- und Mondbeobachtungen bedient hatte, beobachtete ich diese Kugel aus einer Entfernung von c. 4 Fuss, während dieselbe gleichzeitig in passender Richtung von der Sonne beschienen wurde. Die Kugel projicirte sich auf einer mit schwarzem Sammet überzogenen Tafel und erschien im Gesichtsfelde des Photometers vollkommen als ein kleiner Stern, dessen Helligkeit mit den künstlichen Sternen des Photometers verglichen werden konnte. Die Kugel wurde nun successive, in Intervallen von je 10 Grad, um ihre senkrecht zur Beobachtungsrichtung stehende Axe gedreht, und in jeder dieser Lagen photometrisch beobachtet.

Die in Fig. 2, Taf. VII dargestellte Curve, bei welcher die Stellungen der Kugel, von einer bestimmten Richtung aus, in Graden als Abscissen angenommen sind, ist nach den erwähnten photometrischen Bestimmungen verzeichnet. Da bei stattfindender Rotation die Drehungswinkel der Zeit proportional sind, so kann man die Intervalle der Abscissen auch als Zeiträume, z. B. Tage, betrachten und sieht alsdann, wie der Stern vom Minimum bis zum Maximum nur 14 Tage, dagegen von hier bis zum Minimum 22 Tage gebrauchen würde. Es folgt also jedenfalls hieraus, dass die angenommene Vertheilung der Schlackenmassen auf der Oberfläche des rotirenden Sternes ein schnelleres Zunehmen als Abnehmen des Glanzes bei den Verändeslichen zu erklären im Stande ist, ohne hierbei zu der neuerdings von KLINKERFUES aufgestellten Hypothese seine Zuflucht nehmen zu müssen[1]).

1) W. KLINKERFUES, Ueber den Lichtwechsel der Veränderlichen. Nachrich-

77.

Mit Hülfe der von mir in Vorstehendem entwickelten Ansicht über die physische Ursache der Veränderlichkeit des Sternenlichtes ist man nun auch im Stande, alle die Einzelheiten, welche in Specialfällen bei plötzlich erschienenen und veränderlichen Sternen beobachtet worden sind, wie mir scheint, in einfacher und ungezwungener Weise erklärlich zu machen.

Ist die Eruption der feurig-flüssigen Masse eine weniger heftige und allgemeine als bei jenen hell auflodernden Sternen in der Cassiopeja und im Schlangenträger, so dass nur ein bestimmter Theil des dunklen Körpers davon überfluthet wird, so erhält man einen plötzlich erschienenen Stern, der gleichzeitig, mit Rücksicht auf seine Rotation, ein veränderlicher ist. Ausserdem können aber auch, bei noch nicht allzu starker Kruste, sich solche Eruptionen in kürzeren Zeiträumen öfter wiederholen, so dass alsdann Sterne mit sehr unregelmässigem Lichtwechsel entstehen, wie bei dem neuen Stern im Schwan vom Jahre 1600 [1]), oder bei Mira Ceti und η Argûs.

Durch hinreichend entwickelte Schlackenbildung kann ferner unter gewissen Umständen die Bewegung und Verschiebbarkeit in den Theilchen der feurig-flüssigen Masse an der Oberfläche gehemmt und der sonst durch jene Beweglichkeit vermittelte Temperaturaustausch der einzelnen Oberflächentheile vermindert werden. Ist daher ein kleinerer Theil der feurig-flüssigen Masse rings von Schlacken umgeben, so wird dieser Theil sich schneller abkühlen, als andere Theile, die den erlittenen Temperaturverlust durch Berührung mit heisseren Massen wieder ersetzen können. Hierdurch wird jener

---

ten der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Jan. 11, 1865, Sitzung vom 7. Januar.

Die veränderlichen Sterne werden hier als optisch nicht mehr trennbare, sehr nahe Doppelsterne betrachtet, die durch ihre gegenseitige Anziehung in den lichtabsorbirenden Atmosphären sehr bedeutende Ebben und Fluthen erzeugen. Durch die hierdurch periodisch veränderte Absorption soll die Veränderlichkeit des Glanzes, und durch schnelleres Abfliessen der Fluthwelle in einem der Rotationsrichtung entgegengesetzten Sinne, die schnellere Lichtzunahme erklärt werden.

1) Kepler, De stella Cygni. (der oben citirten Schrift: De nova stella Serpentarii, 1606, angehängt).

Theil früher rothglühend als andere, und man erhält auf diese Weise einen Stern, welcher seine Intensität und Farbe gleichzeitig ändert.

Die Unveränderlichkeit der Periodendauer wird unter den hier gemachten Voraussetzungen, bei constanter Rotationszeit, lediglich von der Unveränderlichkeit in der räumlichen Vertheilung der Schlakkenmassen abhängen. Eine solche Unveränderlichkeit ist aber nach der Natur meiner Hypothese im Allgemeinen nicht zu erwarten, sondern die oben erwähnten Strömungen in der feurig-flüssigen Masse, welche theils durch die Rotation theils durch ungleiche Abkühlung bedingt sind, werden ebenso wie das Entstehen neuer Schlackenbildungen nothwendig Veränderungen in der Vertheilung des leuchtenden und nichtleuchtenden Areals bewirken müssen. Diese Veränderungen können nicht ohne Einfluss weder auf die Dauer der Periode noch auf die Form der Helligkeitscurve sein. Bezüglich der Periodendauer sind im Allgemeinen nur zwei Fälle möglich, entweder wird durch die veränderte Schlackenanordnung das Maximum des leuchtenden Areals in gleichem oder im entgegengesetzten Sinne der Rotation verschoben. Im ersten Falle muss sich alsdann, so lange die Verschiebung dauert, die Periode verkürzen, im letzteren verlängern.

Es ist bekannt, dass solche Aenderungen in der Periodicität mehrerer Veränderlichen durch die, auf diesem neuen Felde epochemachenden, Arbeiten ARGELANDER's mit Bestimmtheit nachgewiesen sind.

Ebenso ungezwungen erklärt sich, bezüglich der Form der Helligkeitscurve, das Auftreten mehrerer Maxima nebst deren allmäliger Verschiebung und Intensitätsänderung, wie z. B. bei β Lyrae.

Dass sehr langsame und regelmässige Aenderungen der Periodendauer auch durch die Veränderungen des Abstandes zwischen unserem Beobachtungorte und dem betreffenden Sterne erklärt werden können, hat ARGELANDER unter Anderem beim Algol gezeigt.

Die gegenwärtige Verkürzung der Periode dieses Sternes würde sich erklären lassen, wenn man animmt, »dass Algol sich uns jedes Jahr etwa 500 Meilen mehr nähert, oder sich um so viel weniger von uns entfernt, wie das vorhergehende: indem dann das Licht um so viel früher jedes Jahr zu uns gelangen muss als die Abnahme

der Periode fordert, nämlich ungefähr 12 Tausendtheile einer Secunde«[1].

Wie ich schon oben bemerkt habe, schliesst meine Hypothese über die plötzlich erschienenen und veränderlichen Sterne keineswegs andere Ursachen aus, durch welche unter Umständen ähnliche Erscheinungen bewirkt werden können. So z. B. das plötzliche Aufleuchten eines Gestirnes durch die beim Zusammenstoss zweier dunklen Himmelskörper entwickelte Wärme, die Veränderlichkeit in gewissen Fällen durch den Umlauf eines dunklen Körpers, oder durch das Vorüberziehen lichtabsorbirender Nebelmassen u. dgl. m.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen derartigen Annahmen und der von mir entwickelten Hypothese besteht jedoch darin, dass die letztere alle die oben angeführten Erscheinungen als nothwendige Stadien eines allgemeinen Entwickelungsprozesses erscheinen lässt, während jene Annahmen nur als mögliche Ursachen der in Rede stehenden Phänomene betrachtet werden können, ganz abgesehen von den vielen, zum Theil sehr künstlichen Modificationen, denen sie in Specialfällen unterworfen werden müssten.

Man wäre genöthigt, die Annahme einer ehemals feurig-flüssigen Beschaffenheit der Weltkörper ganz fallen zu lassen, wollte man auch nur eine der oben angeführten Entwickelungsperioden bezüglich ihrer äusseren Erscheinung in Frage stellen. Ist dagegen die feurige Beschaffenheit jenes ursprünglichen Zustandes einmal zugegeben, — und die Ergebnisse der Spectralanalyse lassen über die Existenz desselben keinen Zweifel mehr, — so folgen daraus alle jene oben entwickelten Phänomene, wie mir scheint, mit einer inneren, physikalischen Nothwendigkeit, so dass man mit Berücksichtigung irdischer Analogien genöthigt gewesen wäre, *a priori* die Existenz veränderlicher Sterne zu vermuthen, wenn man bis jetzt auch nicht vermocht hätte, dieselbe durch Beobachtungen zu constatiren.

Ohne Zweifel wird die gegenwärtig erst in der ersten Entwickelung begriffene Spectralanalyse ein mächtiges Hülfsmittel werden, die Richtigkeit meiner Ansichten zu prüfen. Sie wird uns die Mittel an die Hand geben, die relativen Unterschiede der Erkaltung der selbstleuchtenden Himmelskörper zu ermitteln und dadurch die Entwicke-

1) Vgl. A. v. HUMBOLDT, Kosmos III. p. 247.

lungsphase eines Fixsterns noch auf anderem Wege als durch die Erscheinungen der periodischen Veränderlichkeit und Röthung des ausgesandten Lichtes zu controliren. Bewährt sich alsdann die hier entwickelte Hypothese, so würde sich nach derselben sowohl eine allmälige, objective Zunahme in der Zahl der Veränderlichen, als auch, — freilich nach unabsehbaren Zeiträumen, — eine Periode erwarten lassen, wo das Aufleuchten neuer Gestirne ebenso zu den Alltäglichkeiten wie jetzt zu den Seltenheiten gehört. Dergleichen Erscheinungen sind alsdann characteristisch für die Entwickelungsphase, in welcher sich unser gesammtes Fixsternsystem befindet, und die Vertheilung der veränderlichen und plötzlich aufleuchtenden Gestirne am Firmamente kann uns dereinst Aufschlüsse über die Richtung geben, in welcher die Abkühlung oder Entwickelung unseres Systems fortschreitet.

78.

Unsere bisher angestellten Betrachtungen erstreckten sich lediglich auf Fixsterne, und wir haben gesehen, dass die KANT'sche Hypothese von der ursprünglich allgemeinen und homogenen Ausbreitung der Materie im Raume genügte, uns das gleichzeitige Vorkommen irdischer Stoffe auf verschiedenen Fixsternen begreiflich zu machen.

Diese Uebereinstimmung in der materiellen Constitution räumlich weit von einander getrennter Körper wird man aber mit noch weit grösserem Rechte bei solchen Himmelskörpern voraussetzen dürfen, welche sich, wie die Planeten, aus der ursprünglich dunstförmig verbreiteten Sonnenmaterie gebildet haben. Die quantitativen Verhältnisse der einzelnen Stoffe können bei den einzelnen Planeten variiren, aber die Qualitäten der Materie müssen der Analogie und Wahrscheinlichkeit nach auf sämmtlichen Planeten im Wesentlichen dieselben sein.

Hieraus folgt, dass die oben (p. 241 ff.) geschilderten fünf Entwickelungsperioden auch von jedem Planeten durchlaufen werden müssen, wie denn in der That bei dem von uns bewohnten Planeten die Ergebnisse der Geologie vollkommen zu Gunsten eines solchen Entwickelungsganges sprechen. Es muss sich demgemäss gegenwärtig jeder Planet in irgend einem der beschriebenen Entwicke-

lungsstadien befinden und es soll nun unsere Aufgabe sein, zu untersuchen, ob die Verschiedenheiten der Planeten, insoweit sie sich nicht auf Bewegungsverhältnisse beziehen, aus der Verschiedenheit ihrer Entwickelungsphasen abgeleitet und erklärt werden können.

So wenig man bis jetzt im Stande ist, die absolute Dauer der einzelnen Entwickelungsperioden eines bestimmten Himmelskörpers anzugeben, so steht doch so viel fest, dass jene Dauer unter übrigens gleichen Umständen mit der Masse des Himmelskörpers wachsen muss. Eine grössere Masse braucht nothwendig eine längere Zeit, um sich bis auf einen bestimmten Temperaturgrad abzukühlen als eine kleinere von übrigens gleicher Beschaffenheit.

Mag demnach die Bildung der Planeten aus der ursprünglich glühenden Gasmasse gleichzeitig, aus mehreren concentrischen Ringen oder durch succesive Ringbildung statt gefunden haben, in beiden Fällen muss mit Rücksicht auf die ausserordentliche Verschiedenheit der Massen auch die Zeit, welche vom Beginn der Bildung eines Planeten bis zu einer bestimmten Temperaturerniedrigung seiner Oberfläche verflossen ist, eine sehr verschiedene gewesen sein.

Sieht man also zunächst ganz von der Wärme ab, welche den Planeten durch die Sonne zugeführt wird, so lässt sich allgemein der folgende Satz aufstellen:

> Ein Planet ist in seiner Entwickelung, unter übrigens gleichen Umständen, um so weiter vorgeschritten, je kleiner seine Masse ist.

Ausser diesem Satze, welcher sich auf die relative Abkühlungs- oder Entwickelungszeit verschiedener Planeten bezieht, lassen sich nun auch noch einige allgemeinere Sätze, bezüglich der relativen Abkühlungsgeschwindigkeit desselben Planeten in den verschiedenen Stadien seiner Entwickelung ableiten.

So lange sich ein Weltkörper noch im glühend-gasförmigen Zustande befindet, kann nach dem bereits oben angeführten KIRCHHOFF'schen Satze, welcher fordert, dass das Verhältniss zwischen dem Absorptions- und Emissionsvermögen für alle Körper bei derselben Temperatur das gleiche sei, die Intentität der Licht- und Wärmeemission nur eine geringe sein[1]. Wir fanden diese Fol-

---

1) G. KIRCHHOFF, Ueber das Verhältniss zwischen dem Emissionsvermögen

gerung bei Besprechung der spectralanalytischen Untersuchung planetarischer Nebel bestätigt.

Durch fortdauernde Wärmeausstrahlung nähert sich aber die glühende Gasmasse allmälig derjenigen Temperatur, bei welcher ein Uebergang des gasförmigen in den flüssigen Aggregatzustand eintritt.

Wir wissen aus der Analogie irdischer Erscheinungen, dass dieser Uebergang für jeden Stoff an eine ganz bestimmte Temperatur gebunden ist und ziemlich plötzlich eintritt. Die hierdurch erzeugte glühend-flüssige Masse muss in Folge ihres stärkeren Absorptionsvermögens für Licht und Wärme, nach dem angezogenen Satze KIRCHHOFF's, auch entsprechend mehr Licht- und Wärmestrahlen aussenden, so dass die Abkühlung in dieser zweiten Entwickelungsperiode im Allgemeinen schneller als in der ersten von statten geht.

Ist alsdann die Temperatur so weit gesunken, dass sich an der Oberfläche der glühenden Masse Schlacken bilden und diese allmälig den ganzen Himmelskörper mit einer Kruste einhüllen, so wird hierdurch wiederum die Wärmeausstrahlung der eingeschlossenen Gluthmasse gehemmt werden.

Dagegen sinkt nun die Temperatur der unmittelbar an der Oberfläche gelegenen Schichten durch fortdauernde Wärmeausstrahlung sehr schnell herab, indem der stattfindende Wärmeverlust bei der schlechten Leitungsfähigkeit der vorzugsweise aus Silicaten bestehenden Oberfläche, nicht eben so schnell durch die Wärme der eingeschlossenen, glühenden Masse ersetzt werden kann. Wird dieser Verlust dann nicht durch Insolation wieder compensirt, wie dies z. B. bei der Erde gegenwärtig der Fall ist, so condensiren sich allmälig auch die leichter flüchtigen Stoffe, wie namentlich der in der Atmosphäre enthaltene Wasserdampf, um schliesslich, bei fortdauernder Temperaturerniedrigung, die ganze Oberfläche des Himmelskörpers mit einer Schnee- und Eiskruste zu bedecken. In diesem Zustande wird der Körper so lange verharren, bis durch die, in Folge der unausgesetzten Erkaltung, eintretende Contraction der äusseren Hülle die eingeschlossene Gluthmasse ihre Decke zersprengt, die Oberfläche

---

und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht. POGGENDORFF's Annalen. (1860) CIX. p. 275. — 301.

überfluthet und dann wiederum im Laufe ihrer allmäligen Abkühlung in kürzerer Zeit eine ähnliche Reihe von Entwickelungsphasen durchläuft wie diejenigen, welche im Obigen geschildert wurden.

Der Eintritt der oben erwähnten Schnee- und Eisperiode muss jedoch bei den Planeten wesentlich von der Quantität der empfangenen Sonnenwärme abhängen. So würde sich z. B. unsere Erde längst in jener Periode befinden, wenn ihre Insolation in Folge eines grösseren Abstandes von der Sonne, eine beträchtlich geringere wäre. Die Existenz der ewigen Schnee- und Eisregion an den Polen, wo in Folge der schieferen Incidenz der Sonnenstrahlen und ihrer grösseren Absorption in der Atmosphäre die Erwärmung des Erdbodens eine viel geringere ist, liefert den Beweis für die Richtigkeit der obigen Behauptung.

Mit Berücksichtigung dieser Verhältnisse und unter Annahme der mehrfach discutirten Hypothese von der Uebereinstimmung der wesentlichen und allgemein verbreiteten Stoffe (z. B. des Wassers auf allen Planeten, kann man folgenden Satz aufstellen:

Ein Planet bedeckt sich, unter übrigens gleichen Umständen, um so früher mit einer Schnee- und Eisrinde, je grösser sein Abstand von der Sonne ist.

Das Eintreten dieser Erscheinung wird sich einem entfernten Beobachter durch eine bedeutende Zunahme der Helligkeit des betreffenden Planeten zu erkennen geben, indem die lichtreflectirende Kraft seiner Oberfläche durch die Ablagerung von Schneemassen in sehr beträchtlicher Weise erhöht werden muss.

Während also ein Fixstern bereits dann unserer Wahrnehmung durch den Gesichtssinn entzogen ist, sobald seine Oberfläche aufhört, Licht auszustrahlen, sind wir bei einem Planeten durch die Modificationen des an seiner Oberfläche reflectirten Lichtes noch im Stande, auch die letzte Entwickelungsperiode der vollendeten Erkaltung zu beobachten.

Durch diese Betrachtungen werden wir, wie man sieht, wieder auf das Gebiet der Photometrie geführt, indem es für die definitive Entscheidung über die Entwickelungsphase eines Planeten offenbar von Wichtigkeit ist, die von ihm ausgesandte Lichtquantität zu bestimmen.

Diese Quantität wird, so lange der Planet sich noch nicht bis

zur Erzeugung einer dunklen Oberfläche abgekühlt hat, theils aus eigenem, theils aus reflectirtem Sonnenlichte bestehen. Nach vollendeter Schlackenbildung, beim Eintritt in die dritte Entwickelungsperiode (p. 243), verschwindet die erste Componente und von nun an leuchtet der Planet lediglich mit reflectirtem Sonnenlichte. Die lichtreflectirende Kraft oder Albedo des Planeten durchläuft hierbei, theils durch Veränderung seiner hydro- und orographischen Verhältnisse, theils durch die Entwickelung einer Flora[1]) auf seiner Ober-

---

1) Ueber die Entwickelung organischer Wesen auf der Oberfläche eines Planeten seien mir hier kurz folgende Bemerkungen gestattet.

Den Gesetzen unseres Verstandes gemäss sind wir gezwungen, für jede Veränderung in der Natur einen zureichenden Grund vorauszusetzen. Es muss demnach, zufolge dieses Causalitätsgesetzes, der in gegenwärtigem Momente stattfindende Zustand der ganzen sinnlich wahrnehmbaren Welt als die nothwendige Folge des diesem Momente unmittelbar vorangegangenen Zustandes betrachtet werden.

Da nun aber dasselbe auch von diesem Zustande gilt und so fort *in infinitum* so ist man gezwungen, jede Veränderung als das Resultat einer unendlichen, nach dem Causalitätsgesetze verknüpften Reihe vorangegangener Veränderungen aufzufassen. Verfolgen wir diese Causalreihe, so weit sie irdische Veränderungen betrifft, fortdauernd rückwärts, so werden wir nothwendig zuletzt auf jenen primitiven, glühend-gasförmigen Zustand unseres Planetensystems geführt, aus dem sich unsere Sonne mit ihren Planeten entwickelt hat.

Unter Voraussetzung der Continuität der Causalreihe sind also in diesem Zustande die letzten, uns wissenschaftlich zugänglichen, Glieder der unermesslich langen Reihe nothwendig verknüpfter Veränderungen zu suchen, als deren Resultat sich der gegenwärtige Zustand der Erdoberfläche unserem Verstande darstellt.

Da nun bei der hohen Temperatur des primitiven Gluthzustandes organische Keime in unserem heutigen Sinne nicht bestehen konnten, so muss es auf unserem Planeten einst eine Zeit gegeben haben, in welcher sich aus unorganischer Materie Organismen entwickelten. — Der Streit über die Existenz einer *generatio equivoca* und die neuerdings zu ihrer Widerlegung angestellten Versuche können also von diesem Gesichtspuncte aus nur einen relativen Werth haben, indem sie uns zeigen, dass wir bei der Beschränktheit unserer Mittel und unseres Verstandes gegenwärtig nicht im Stande sind, die erforderlichen Bedingungen zur spontanen Bildung organischer Zellen aus unorganischer Materie derartig zu realisiren, dass jede Möglichkeit einer anderen Zeugungsart ausgeschlossen wäre. Dass aber einst wirklich eine *generatio equivoca* stattgefunden habe, kann für den menschlichen Verstand nicht anders als mit Aufhebung des Causalitätsgesetzes geläugnet werden.

Diejenigen, welche behaupten, es sei für die Entstehung der Organismen die Annahme einer solchen Discontinuität der Causalreihe erforderlich, hätten zunächst den Beweis zu liefern, dass das Zusammenwirken aller einst vorhandener Bedin-

fläche verschiedene Werthe und erreicht schliesslich in der Schnee- und Eisperiode ein Maximum, auf dem sie so lange verharrt, bis sie entweder durch ein Hervorbrechen der eingeschlossenen Gluthmasse wieder verändert wird, oder die plötzliche Zersprengung der Planetenoberfläche eine ähnliche Katastrophe herbeiführt, wie diejenige, welcher wahrscheinlich die zahlreichen Asteroïden ihre Entstehung verdanken[1].

79.

Um nun aus der Albedo oder lichtreflectirenden Kraft eines Planeten Schlüsse bezüglich der physischen Beschaffenheit seiner Oberfläche machen zu können, müssen diese Kräfte zunächst für eine Anzahl irdischer Körper bekannt sein.

Die einzigen Bestimmungen dieser Art, welche von zerstreutreflectirenden Substanzen bis jetzt vorliegen, sind diejenigen von LAMBERT[2]). Die Methode, deren sich derselbe bei seinen Beobachtungen bedient und a. a. O. beschreibt, ist kurz folgende:

Es sei *ab* Fig. 3, Taf. VII die Projection eines Schirmes, welcher mit dem Stoffe (z. B. Papier), dessen Albedo ermittelt werden

---

gungen nicht im Stande gewesen sei, zu einer bestimmten Zeit das in Rede stehende Phänomen hervorzurufen.

Zwei primitive, glühend-gasförmige Dunstmassen, welche sich an zwei ganz verschiedenen Stellen im Raume befinden und bezüglich aller ihrer Eigenschaften zu einer bestimmten Zeit vollkommen übereinstimmten müssten mit Nothwendigkeit bis in die kleinsten Details herab auch dieselbe Aufeinanderfolge von Veränderungen durchlaufen. Da wir nun wissen, dass die chemischen Elemente, aus denen Planeten und Fixsterne bestehen, nicht *toto genere* von den auf der Erde anzutreffenden verschieden sind, so werden wir auch bezüglich der organischen Entwickelungen auf den Planeten unseres und anderer Sonnensysteme von ähnlichen Ursachen auf ähnliche Wirkungen schliessen dürfen.

Gestattet demnach die Abkühlung, die Stärke der Insolation und die Intensität der Schwere eines Planeten die Entwickelung von Organismen auf seiner Oberfläche, so werden dieselben im Allgemeinen als analog den Typen der vorweltlichen und gegenwärtigen Flora und Fauna der Erde vorausgesetzt werden können.

1) Die Hypothese, nach welcher die kleinen Planeten die Trümmer eines grösseren sind, ist zuerst von OLBERS aufgestellt worden. Vgl. ZACH, monatl. Corresp. Bd. VI. p. 88.

2) LAMBERT, Photometria §. 747—750.

soll, überzogen ist. Dieser Schirm wird von J aus vermittelst einer Kerzenflamme möglichst normal beleuchtet, und alsdann sein, durch die Linse L von ihm entworfenes, optisches Bild S von einem anderen Schirme AB aufgefangen. Die Lichtquelle J beleuchtet nun aber ausser ab gleichzeitig auch noch AB, und es ist klar, dass je weiter dieselbe von ab entfernt wird, desto dunkler auch das optische Bild von ab in S im Vergleich zu der von J direct beleuchteten Stelle bei S' sein muss. LAMBERT veränderte hierbei die Entfernung der Kerzenflamme von ab so lange, bis das in S von der zu prüfenden Oberfläche entworfene Bild gleiche Helligkeit mit dem in S' direct beleuchteten Theile des Schirms hatte. Man übersieht unmittelbar, dass für diesen Fall die Entfernung der Lichtquelle J von ab um so kleiner sein muss, je geringer die lichtreflectirende Kraft des auf ab befindlichen Stoffes ist, und umgekehrt.

Bezeichnet man die Entfernung CJ mit D, JS' mit D', LS mit d, den Halbmesser der Linsenapertur mit d', so zeigt LAMBERT, dass durch diese Grössen mit sehr grosser Annäherung der Werth der lichtreflectirenden Kraft μ des auf ab befindlichen Stoffes folgendermassen ausgedrückt werden kann:

$$\mu = \frac{1}{\varkappa}\left[\frac{dD}{d'D'}\right]^2 .$$

Hierin bedeutet $\varkappa$ den Absorptionscoefficienten der Linse, welcher in jedem einzelnen Falle durch Versuche zu ermitteln ist.

Die Ableitung dieses Ausdruckes aus der Formel für die Helligkeit des durch eine Linse erzeugten optischen Bildes findet man a. a. O. bei LAMBERT und in BEER's Grundriss des photometrischen Calcüles p. 74—81.

Mit Hülfe dieser Methode bestimmte LAMBERT die lichtreflectirenden Kräfte einiger Stoffe, z. B. von weissem Papier und Kremser Weiss.

Für sehr weisses Papièr (*charta albissima*) findet er aus 11 unter sich gut übereinstimmenden Versuchen die Albedo

$$\mu = 0.4102 .$$

Bei diesen Versuchen variirte die Grösse D zwischen 5 und 1·2 Zoll, die Grösse D' zwischen 65 und 147 Zoll[1].

---

[1]) LAMBERT, Photometria §. 747 ff.

Für Kremser Weiss erhielt er in derselben Weise

$$\mu = 0.4230$$

Da die Kenntniss der lichtreflectirenden Kräfte irdischer Stoffe für unsere Zwecke offenbar von fundamentaler Wichtigkeit ist, und, wie schon bemerkt, die LAMBERT'schen Bestimmungen die einzigen sind, auf welche sich bisher alle hier einschlagenden Betrachtungen stützten[1], so hielt ich es für dringend geboten, diese Versuche sowohl nach LAMBERT'S, als auch nach den von mir auf Himmelskörper angewandten Methoden zu wiederholen.

Was zunächst die Albedo-Bestimmungen nach der letzteren Methode betrifft, so erlangt man durch Anwendung derselben den Vortheil, dass alle hypothetischen Elemente über das photometrische Grundgesetz ausgeschlossen bleiben, vorausgesetzt, dass es sich blos um relative Bestimmungen handelt.

Angenommen, ich bestimme mit Anwendung von Combination I (vgl. p. 120) das Helligkeitsverhältniss der Sonne zu der Lichtmenge, welche eine Gypskugel von bekannter Grösse und in bekanntem Abstande vom Photometer reflectirt, so kann hieraus in derselben Weise, wie bei einem beleuchteten Himmelskörper, die Albedo jener Gypskugel berechnet werden. Ohne nun dem so erlangten Werthe eine absolute Bedeutung beizulegen, ist man doch im Stande, aus der Vergleichung desselben mit dem unter ganz ähnlichen Bedingungen für einen Planeten erhaltenen, zu beurtheilen, welcher von beiden Körpern eine grössere lichtreflectirende Kraft besitzt, der Planet oder die Gypskugel.

Durch diese Betrachtung geleitet, stellte ich in der angedeuteten Weise an verschiedenen Körpern Beobachtungen an. Ausser Kugeln, welche selbstverständlich, so weit als irgend thunlich, wie ein Planet in der Opposition beleuchtet und beobachtet wurden, wandte ich auch kreisförmige Scheiben an, die auf einem grossen, mit schwarzem Sammet überzogenen Schirm in geeigneter Weise befestigt waren. Die von einer solchen Scheibe reflectirte Lichtmenge wurde alsdann nach den im zweiten Theile dieser Schrift (p. 39) gegebenen Formeln berechnet, und konnte mit Rücksicht auf die von der Sonne

1) Vgl. BOND, Results of photometric experiments etc. Memoirs of the American Academy, New Series Vol. VIII. p. 282.

ausstrahlende Lichtmenge ebenfalls zur Bestimmung der lichtreflectirenden Kraft des angewandten Stoffes benutzt werden.

Ich war überrascht, durch alle diese Bestimmungen für die Albedo weisser Körper einen viel grösseren Werth als den oben von LAMBERT angegebenen zu finden. Obgleich die an verschiedenen Tagen und unter verschiedenen Umständen erhaltenen Werthe für ein und denselben Stoff nicht sehr gut übereinstimmten, so erhielt ich doch nie einen Werth, der so klein wie der LAMBERT'sche gewesen wäre.

Hierdurch war ich genöthigt, LAMBERT's Versuche möglichst genau zu wiederholen. Der betreffende Versuch ist in der *Photometria* (Experimentum XXVI p. 339) nur sehr oberflächlich beschrieben, und da ich mich vergeblich bemühte, an irgend einer Stelle die Angabe besonderer Vorkehrungen aufzufinden, welche geeignet gewesen wären, dem Versuche den Character eines rohen Präliminarversuches zu nehmen, so hielt ich mich streng an die Beschreibung LAMBERT's, um auf diese Weise den von mir vermutheten Einfluss einer constanten Fehlerquelle am sichersten zu entdecken.

Ich wählte daher eine Linse, deren Dimensionen möglichst den von LAMBERT angegebenen entsprachen, und stellte dieselbe, auf einem Stativ, dem mit weissen Papier überzogenen Schirme AB (Fig. 3, Taf. VII) frei gegenüber. Der mit dem zu untersuchenden Papiere bedeckte Schirm ab wurde einer Kerzenflamme J so gegenüber gestellt, dass die Strahlen der Letzteren ihn möglichst senkrecht trafen, und dabei doch der Winkel JCS ein möglichst spitzer blieb. War nun die Linse L in geeigneter Entfernung vom Schirme AB aufgestellt, so erschien hier ein scharfes Bild der Papierscheibe ab auf dunklem Grunde. Gleichzeitig befand sich aber auch das sehr intensive Flammenbildchen von J ganz in der Nähe jenes Bildes, so dass es mir und Andern nur innerhalb ziemlich weiter Grenzen möglich war, ein Urtheil über die Helligkeit des Bildes von ab in S im Vergleich zur directen Beleuchtung des Schirmes in S' zu erhalten. Dessenungeachtet wurde, so gut es ging, der Abstand der Kerzenflamme von ab und die übrigen Entfernungen JS' und LS ermittelt, bei welchen die Helligkeit des optischen Bildes in S gleich der Helligkeit an der direct beleuchteten Stelle in S' war.

Der Absorptionscoefficient der angewandten Linse wurde durch besonders für diesen Zweck angestellte Beobachtungen bestimmt und alsdann nach der oben von LAMBERT angegebenen Formel die Albedo des in *ab* befindlichen Papierschirmes berechnet.

Aus mehreren Versuchen, die allerdings weniger gut unter sich übereinstimmten als die von LAMBERT angegebenen Werthe, ergab sich als Mittel für die Albedo des benutzten Papiers die Zahl: 0.36, also, wie man sieht, ein noch geringerer Werth als der oben von LAMBERT für weisses Papier gefundene.

Da nach LAMBERT die Albedo von dem sehr stark lichtreflectirenden Kremser Weiss[1] sich nach den angegebenen Zahlen nur wenig von der Albedo des angewandten, »sehr weissen Papiers« unterscheidet, so kann der niedrige Werth für das von mir angewandte Papier nicht durch eine Verschiedenheit der benutzten Papiersorten erklärt werden.

80.

Die grosse Nähe, in welcher sich, wie oben erwähnt, das optische Bild der Lichtquelle neben dem Bilde des von ihr beleuchteten Papierschirmes (ein Quadrat von 7 Zoll Seitenlänge) befand, flösste mir sehr starke Bedenken gegen die Zuverlässigkeit der LAMBERT'schen Methode ein.

Die grosse Helligkeit des nahen Flammenbildes musste nothwendig durch Contrastwirkung die Helligkeit des beleuchteten Schirmes zu gering erscheinen lassen, so dass also das weisse Papier scheinbar weniger Licht reflectirte, als dies in der That der Fall war.

Mit Rücksicht auf diese Contrastwirkung würde folgen:

dass die LAMBERT'sche Methode, in der von LAMBERT angewandten Form, für die lichtreflectirenden Kräfte verschiedener Stoffe nothwendig zu kleine Werthe liefern muss.

Um mich von der Richtigkeit dieser Behauptung zu überzeugen, suchte ich die besagte Methode in der Weise zu modificiren, dass

---

1) Kremser Weiss besteht im Wesentlichen aus kohlensaurem Bleioxyd; die genauere chemische Formel ist: $2PbO \,.\, CO_2 + PbO \,.\, HO$.

der Einfluss der erwähnten Fehlerquelle eliminirt wurde. Es geschah dies durch folgenden Apparat.

ABCD (Fig. 4, Taf. VII) stellt den horizontalen Durchschnitt eines im Innern geschwärzten Kastens dar, welcher durch eine Scheidewand *E* in zwei Hälften getheilt ist. Auf der Seite *AB* sind bei *O* und *O'* zwei kreisförmige Oeffnungen angebracht, von denen die eine (*O*) durch die, in einem verschiebbaren Rohre gefasste, Linse *L* verschlossen ist. Die der Seite *AB* gegenüberliegende Wand *CD* ist durch eine mattgeschliffene Glasplatte *FF'* verschlossen, auf welcher von aussen eine schwarze Metallplatte *GG'* befestigt werden kann, die bei *S* und *S'* zwei gleich grosse, kreisförmige Oeffnungen von einigen Millimetern Durchmesser hat. Diese Oeffnungen sind in solcher Höhe angebracht, dass ihre Mittelpunkte mit denjenigen der Oeffnungen *O* und *O'* in gleicher Höhe liegen.

Dieser Apparat wurde nun dem durch die Kerzenflamme beleuchteten Schirme gegenüber gestellt, so dass jetzt die matte Glasplatte *FF'* die Stelle des von Lambert angewandten Schirmes *AB* (Fig. 3) vertritt.

Die Metallplatte mit den Oeffnungen *S* und *S'* verhinderte hierbei das Erscheinen des Flammenbildes, so dass das Auge jetzt nur darüber zu entscheiden hatte, bei welcher Entfernung der Lichtquelle vom Schirme *ab* (Fig. 3) die beiden leuchtenden Scheiben gleich hell erschienen.

Durch Entfernen und Vorsetzen dieser Metallplatte stand es nun offenbar in meinem Belieben, die in Rede stehenden Bestimmungen entweder unter dem Einfluss oder bei Beseitigung der erwähnten Fehlerquelle auszuführen.

Meine oben aufgestellte Vermuthung über die Beeinträchtigung der Helligkeit des Bildes vom Schirme *ab* durch die Nähe des Flammenbildes wurde durch den beschriebenen Apparat auf's Vollständigste bestätigt. Der Einfluss war ein so bedeutender, dass, jenachdem man das Flammenbild verdeckte oder erscheinen liess, die Helligkeit des optischen Bildes vom Schirme in *S* heller oder dunkler als die in *S'* direct beleuchtete Stelle erschien.

Indem ich nun mit diesem Apparate eine Reihe von Albedo-Bestimmungen desselben weissen Papiers ausführte, erhielt ich in der That, bei Verdeckung des Flammenbildes, Werthe, welche ziemlich

gut mit den nach meinen oben erwähnten Methoden gefundenen übereinstimmten. Wurde dagegen das Flammenbild nicht verdeckt, so erhielt ich für die lichtreflectirende Kraft des Papiers Werthe, welche beträchtlich kleiner waren und im Allgemeinen mit den von LAMBERT angegebenen übereinstimmten.

Hierbei muss jedoch bemerkt werden, dass die Uebereinstimmung der bis jetzt unter verschiedenen Umständen gefundenen Werthe eine wenig befriedigende ist und ich daher bitte, die folgenden Zahlenangaben für die lichtreflectirenden Kräfte verschiedener Stoffe vorläufig nur als Näherungswerthe zu betrachten.

Bei der Wichtigkeit des Gegenstandes beabsichtige ich diese Bestimmungen nach genaueren und verbesserten Methoden zu wiederholen. Es müssen hierbei auch die Gesetze näher festgestellt werden, nach welchen sich bei verschiedenen Stoffen die reflectirten Lichtmengen nach Massgabe des Incidenz- und Emanationswinkels ändern, wie dies bereits im ersten Theile bei der Kritik des LAMBERT'schen Grundgesetzes hervorgehoben wurde. (Vgl. p. 24 ff.)

So viel geht jedoch, wie sich zuverlässig behaupten lässt, schon aus meinen bisherigen Beobachtungen mit Bestimmtheit hervor, d a s s d i e v o n LAMBERT f ü r d i e l i c h t r e f l e c t i r e n d e K r a f t w e i s s e r S t o f f e g e f u n d e n e n W e r t h e v i e l z u k l e i n s i n d.

Aus meinen sämmtlichen Beobachtungen, die nach drei verschiedenen Methoden ausgeführt wurden, glaube ich mit einer wahrscheinlichen Unsicherheit von c. 10 Procent annehmen zu können, dass die Albedo des gewöhnlichen weissen Schreibpapiers c. 0.70 ist. Die genaueren Details dieser Beobachtungen hier ausführlich mitzutheilen, würde mich zu weit von dem eigentlichen Gegenstande der vorliegenden Untersuchungen entfernen. Es liegt hier noch ein gänzlich unbebautes Feld vor uns, dessen genauere Erforschung den Inhalt einer selbstständigen, umfangreichen Arbeit bilden müsste.

81.

Nachdem mit Hülfe der oben angegebenen Methode die Albedo des gewöhnlichen, weissen Schreibpapiers ermittelt war, wurde bei den übrigen Stoffen nur das V e r h ä l t n i s s ihrer lichtreflectirenden

Kraft zu der des Papiers bestimmt, so dass man aus der bekannten Albedo des letzteren, auch die eines jeden der übrigen Stoffe berechnen konnte.

Mit Ausnahme der beim Schnee angewandten Methode, verfuhr ich bei allen diesen Bestimmungen in der Weise, dass mit Hülfe des in Fig. 2. Taf. III. abgebildeten Photometers von der Sonne beleuchtete und gleich grosse Scheiben der verschiedenen Stoffe mit einer unter gleichen Bedingungen bestrahlten Papierscheibe verglichen wurden[1]). Die Bilder dieser Scheiben erschienen im Gesichtsfelde des Photometers als leuchtende Punkte von vollkommen gleichem Ansehen mit den künstlichen Sternen, und konnten demgemäss bezüglich ihrer relativen Intensität photometrisch gemessen werden.

Zur Ermittelung der lichtreflectirenden Kraft des Schnees im Vergleich zu der des weissen Pepiers, wandte ich ein anderes, bedeutend genaueres Verfahren an, welches kurz in Folgendem bestand.

Aus dem in Fig. 1. Taf. III. abgebildeten Photometer wurde zunächst der Silberspiegel *c* (vgl. p. 81. ff.) entfernt und bei *c'* eine transparente, mattgeschliffene Glasplatte eingeschaltet, dann wurde die Oeffnung vor der Linse *b* durch eine geschwärzte Holzplatte verschlossen, so dass die künstliche Lichtquelle bei diesen Beobachtungen gar nicht zur Anwendung kam. Der ganze Apperat wurde nun auf einem kleinen Tischchen mitten in dem dicht mit Schnee bedeckten Garten der hiesigen Sternwarte aufgestellt und zwar an einem Tage, wo der Himmel gleichmässig mit Wolken bedeckt war und in der Nacht ein sehr reichlicher Schneefall stattgefunden hatte.

Die Längsaxe des Instrumentes wurde horizontal gestellt, so dass, nach Entfernung der matten Glasplatte bei *p* (Fig. 1[a], Taf. III.) der Polarisationsspiegel seine Fläche nach dem hoch mit Schnee bedeckten Erdboden wandte. Bei dieser Anordnung würde nun die eine Hälfte des Gesichtsfeldes im Photometer durch das vom Schnee reflectirte Licht erleuchtet, während die andere ihr Licht

---

1) Diese Scheiben erhielt ich einfach dadurch, dass vor dem zu untersuchenden Stoff eine grosse, mit schwarzem Sammet überzogene Scheibe von 0.8 Meter Durchmesser gesetzt wurde, welche in der Mitte eine kreisförmige Oeffnung von 71mm im Durchmesser hatte. Die betreffende Substanz wurde dicht hinter dieser Oeffnung befestigt und möglichst senkrecht den Sonnenstrahlen ausgesetzt.

durch die vom Himmel beleuchtete und durch den Spiegel f nach o (Fig. 1 Taf. III.) reflectirte, matte Glasplatte bei c' erhielt.

Wie schon früher bei der ausführlichen Beschreibung dieses Photometers erwähnt wurde, war durch Anwendung der Ocularlinse g, welche stets auf die scharfe Kante von f eingestellt ist, eine vollkommen homogene Ausbreitung des Lichtes erzielt worden, so dass hierdurch jeder störende Einfluss eines ungleichartigen Ansehens der verglichenen Flächen vollkommen beseitigt war. Auch mussten hierbei nothwendig die Aenderungen, welche möglicherweise die Helligkeit des Himmels während der Beobachtungen erlitt, vollständig eliminirt sein, da die im Photometer verglichenen Flächen beide ihr Licht nahezu von gleichen Stellen des Himmels erhielten.

Die Beobachtungen für den beabsichtigten Zweck wurden nun einfach in der Weise angestellt, dass abwechselnd dieselbe Stelle der Schneefläche, welche ihr Licht in das Photometer sandte, mit einem Buche von demselben weissen Papier bedeckt wurde, dessen Albedo oben zu 0.70 bestimmt worden war. Das Photometer wurde hierbei jedesmal so eingestellt, dass die beiden Hälften des Gesichtsfoldes vollkommen gleich hell erschienen.

Die Genauigkeit bei diesen Bestimmungen war in Folge der fast vollkommenen Farbengleichheit der verglichenen Lichtmengen so gross, dass hierbei in der That die bereits früher erwähnte, optische Täuschung für den Fall der Gleichheit eintrat. Es verwandelte sich nämlich das bei allen übrigen Einstellungen des Photometers in zwei Hälften getheilte, kreisförmige Gesichtsfeld bei eingetretener Intensitäts-Gleichheit plötzlich in eine vollkommen homogene Lichtscheibe.

In der beschriebenen Weise wurden nun im Ganzen 18 Beobachtungen in zwei, der Zeit nach, wenig verschiedenen Absätzen angestellt. Bezeichnet μ die Albedo des Schnee's und μ' die des angewandten Papiers, so sind die Resultate der Beobachtungen folgende:

$$1)\quad \frac{\mu}{\mu'} = 1.123 \qquad \text{(9. Beob.)}$$

$$2)\quad \frac{\mu}{\mu'} = 1.125 \qquad \text{(9. Beob.)}$$

folglich:

$$\frac{\mu}{\mu'} = 1.124$$

Es reflectirt also frisch gefallener Schnee etwa 12 Procent mehr Licht, als das gewöhnliche, weisse Schreibpapier.

Nimmt man nun für die lichtreflectirende Kraft des bei allen diesen Versuchen benutzten weissen Schreibpapiers den oben angeführten Nährungswerth 0.70 an, so ergeben sich für die von mir untersuchten Stoffe folgende Werthe:

	μ
Frisch gefallener Schnee	0.783
Weisses Papier	0.700
Weisser Sandstein	0.237
Thonmergel	0.156
Quarz-Porphyr	0.108
Feuchte Ackererde	0.079
Dunkelgrauer Syenit	0.078

Bei jeder der angeführten Erd- und Gesteinsarten ist der betreffende Werth aus vier Beobachtungen abgeleitet, welche sehr befriedigend unter einander übereinstimmen.

Ich lasse hier noch die Reflexionskräfte einiger von mir untersuchter spiegelnder Substanzen folgen. Die Beobachtungsmethode ist hierbei eine wesentlich andere als bei zerstreut reflectirenden Körpern indem bei den letzteren die auffallende Lichtmenge sich nach der Reflexion über eine ganze Hemisphäre ausbreitet, während an der ebenen Oberfläche eines spiegelnden Stoffes die Lichtstrahlen durch Reflexion in ihrer Divergenz nicht geändert werden. Man hat daher nur die Intensität einer Lichtquelle mit der Intensität ihres Spiegelbildes zu vergleichen, um hieraus, mit gehöriger Berücksichtigung des Abstandes der Lichtquelle, die Reflexionskraft der spiegelnden Substanz zu finden. Auch hier muss ich die genauere Mittheilung der angewandten Beobachtungsmethode einer besonderen Abhandlung vorbehalten.

Die Resultate, welche sich aus meinen Beobachtungen ergaben, sind folgende:

	μ
Quecksilber	0.648
Spiegelmetall	0.535
Glas	0.040
Obsidian	0.032
Wasser	0.021

Das Spiegelmetall und den Obsidian wandte ich in Form von geschliffenen Platten[1]) an, welche Herr Professor HANKEL die Güte hatte, mir aus der Sammlung des hiesigen physikalischen Cabinets zur Verfügung zu stellen.

Die Glassplatte war auf der hinteren Seite matt geschliffen, so dass nur das vordere Reflexbild zur Wirkung gelangte; sie diente zu einem künstlichen Glashorizont bei Beobachtungen mit dem Sextanten.

Der Incidenz- und Reflexionswinkel betrug bei allen diesen Versuchen c. 20°. Diese Werthe haben beträchtlich grössere Sicherheit als die oben für zerstreut reflectirende Substanzen angeführten Zahlen.

82.

Nachdem nun die lichtreflectirenden Kräfte einer Anzahl irdischer Stoffe bekannt sind, können dieselben mit den oben (p. 162 ff.) für den Mond und die Planeten gefundenen Grössen verglichen werden, um auf diese Weise, in Verbindung mit anderweitig bekannten Thatsachen, einige Anhaltspuncte zur Beurtheilung der physischen Beschaffenheit jener Himmelskörper zu erhalten.

Die Werthe, welche a. a. O. für die Albedo des Mondes und der Planeten ermittelt wurden, waren folgende:

Mond	0 1736 $\pm$ 0.0035
Mars	0.2672 $\pm$ 0.0155
Jupiter	0.6238 $\pm$ 0.0355
Saturn	0.4981 $\pm$ 0.0249
Uranus	0.6406 $\pm$ 0.0544
Neptun	0.4648 $\pm$ 0.0372

Der Mond, für den hier die wahre Albedo[2]) angesetzt ist, besitzt also unter den beobachteten Himmelskörpern das kleinste, mittlere Reflexionsvermögen. Vergleicht man dasselbe mit den oben für irdische Stoffe angegebenen Reflexionskräften, so würde die mittlere Albedo des Mondes ungefähr mit der des Thonmergels und

1) Die Politur der Spiegelmetall-Platte war keine besonders gute.

2) Vgl. p. 138 ff.

Sandsteins übereinstimmen. Es scheint mir dies Resultat vollkommen im Einklang mit einer von SIR JOHN HERSCHEL gemachten Beobachtung zu stehen.

BOND citirt in seinen mehrfach angeführten Untersuchungen p. 276 eine Stelle aus HERSCHEL's »Outlines of Astronomy« (417), note, p. 272, welche folgendermassen lautet:

> »The actual illumination of the lunar surface is not much superior to that of weathered sandstone rock in full sunshine. I have frequently compared the Moon, setting behind the gray, perpendicular façade of the Table Mountain, illuminated by the Sun just risen in the opposite quarter of the horizon, when it has scarcely been distinguishable in brightness from the rock in contact with it. The Sun and Moon being nearly at equal altitudes and the atmosphere perfectly free from cloud or vapor, its effect is alike on both luminaries.«

Auch mit den von BOND selbst über diesen Gegenstand angestellten Untersuchungen stimmt das oben von mir erlangte Resultat sehr gut überein. BOND bemerkt hierüber in seiner ersten Abhandlung[1]) p. 226 Folgendes:

> »Experiments made upon the reflective capacity of various substances on the Earth's surface lead to the conclusion that the optical albedo of dark, weather-worn rocks, dry earth, sand and gravel and of the Earth's landscape generally, approaches that of the Moon, so that in reflective power there is no considerable difference between the two bodies.«

Hierdurch wird indirect der oben von mir für die Albedo weisser Stoffe gefundene Werth bestätigt. Wären die Angaben LAMBERT's richtig, so müsste der Mond ein weit hellerer Körper als die angeführten Stoffe sein.

Die Albedo von Jupiter und Uranus ebenso wie die von Saturn und Neptun kann man mit Rücksicht auf die wahrscheinlichen Fehler

---

1) BOND, On the light of the Moon and of the planet Jupiter. Mem. of the American Academy Vol. VIII (1861),

Die hier angeführten Albedo-Bestimmungen sind sämmtlich nur relative, keine absoluten, wie die oben von mir mitgetheilten. Es wird also nur das Verhältniss der lichtreflectirenden Kräfte verschiedener Substanzen ermittelt.

als gleich annehmen. Unter den angeführten Planeten würde demnach Mars der dunkelste Körper sein.

Was zunächst den Mond betrifft, so ist der oben angeführte Werth, ebenso wie bei den Planeten, aus der gesammten, von seiner Oberfläche zur Zeit der Opostion reflectirten Lichtmenge berechnet worden. Der angegebene Werth für die Albedo ist also nur ein Mittelwerth, bei welchem von der ungleich lichtreflectirenden Kraft verschiedener Theile der Mondoberfläche abgesehen ist.

Den grossen Unterschieden in dem Reflexiosvermögen dieser Theile muss aller Wahrscheinlichkeit nach auch ein stofflicher Unterschied entsprechen und es ist daher für unsere Zwecke von Interesse, die erwähnten Helligkeitsunterschiede auf der Mondoberfläche etwas näher zu untersuchen, um hierdurch die lichtreflectirenden Kräfte einzelner Theile besonders zu bestimmen.

Ich bin gegenwärtig mit der Construction eines geeigneten Photometers für diese Zwecke beschäftigt, so dass es mir hier noch versagt bleiben muss, numerische Werthe für die in Rede stehenden Intensitätsunterschiede aus eigenen Beobachtungen mitzutheilen.

Darf man indessen den photometrischen Messungen Bouguer's und Arago's[1]) auf diesem Gebiete auch nur einiges Vertrauen beilegen und die blossen Ocularschätzungen nicht ganz unberücksichtigt lassen, so wird man jedenfalls zu der Annahme berechtigt sein, dass es im Vollmonde einzelne Stellen gebe, von denen die hellsten die dunkelsten mindestens um das Zehnfache an Helligkeit übertreffen.

Da nun aus der obigen Zusammenstellung der lichtreflectirenden Kräfte irdischer Stoffe hervorgeht, dass das Reflexionsvermögen der weissen Körper dasjenige der ganz dunklen oder schwarzen ungefähr um das Zehnfache übertrifft, so würde hieraus mit Rücksicht auf die für den Mond gefundene mittlere Albedo folgen, dass auf dem Monde

---

1) Arago, Oeuvres complètes T. X. p. 292. Arago findet hier, dass die helleren Stellen am Rande des Mondes im Mittel 2.7 Mal heller als die dunklen Flecken sind. Dagegen übertraf eine sehr helle Partie am Rande einen dunklen Fleck um das 17fache. Von einem isolirten, glänzenden Puncte bemerkt Arago p. 293 a. a. O. sogar Folgendes: »Un point brillant isolé·était 108 fois plus brillant que la surface générale du satellite.«

Bouguer bestimmte am 4. März 1785 das Helligkeitsverhältniss zweier dunkler Stellen auf dem Monde. Er fand die Mitte des *Mare humorum* fünf bis sechs Mal heller als die dunkle Stelle im *Grimaldi*. Vgl. Traité d'optique p. 122.

die ganz hellen Stellen aus einem weissen, die dunklen dagegen aus einem grauen oder schwarzen Stoffe bestehen müssen[1]). Natürlich gilt dieser Schluss nur unter der Voraussetzung, dass die Mondoberfläche auch aus irdischen Stoffen bestehe. Die Annahme, es sei dieselbe aus uns gänzlich unbekannten Körpern zusammengesetzt, von denen wir nicht auch Repräsentanten auf der Oberfläche unserer Erde besitzen, ist sowohl nach der oben discutirten Kosmogonie als auch, wie früher (p. 206.) gezeigt, aus logischen Gründen bei unseren Betrachtungen gänzlich ausgeschlossen.

Im vorliegenden Fall nun, wo wir zu dem, allerdings noch durch genauere Messungen zu bestätigenden, Resultate gelangt sind, es bestehe der Mond an seinen hellsten Stellen aus einem weissen Körper, bietet sich uns naturgemäss die Frage nach der stofflichen Beschaffenheit dieses Körpers dar.

Es ist von Interesse, eine erst vor wenigen Jahren aufgestellte Ansicht BOND's zu berücksichtigen, welche derselbe in seiner mehrfach citirten Abhandlung[2]) mit Bezug auf eine Untersuchung SECCHI's über die Polarisation des Mondlichtes in folgenden Worten ausspricht:

»It deserves attention in connection with the subject, that SECCHI has noticed a peculiarity in the polarization of moonlight, which he compares to that observed in reflection from glass-paper. It may be worth while to notice, too, that the Moon is little if at all exposed to the disintegrating action of water or of an atmosphere; hence it is not unlikely that its surface, instead of

---

1) Dass die hellsten Theile des Mondes weiss sein müssen, wird, wie mir scheint, noch wesentlich durch die von J. HERSCHEL, BOND und mir erwiesene Thatsache wahrscheinlich gemacht, dass das Mondlicht fast genau dieselbe Farbe wie das Sonnenlicht besitzt. Hieraus folgt, dass die Mondoberfläche alle Strahlen verschiedener Brechbarkeit, welche im Sonnenlichte enthalten sind, in gleichem Verhältnisse absorbirt und reflectirt, was, abgesehen von der Intensität des reflectirten Lichtes, gerade die charakteristische Eigenschaft aller weissen Körper ist.

Bei dunklen Stoffen gehört dieser Fall im Allgemeinen zu den Seltenheiten, denn es müsste ihre Farbe alsdann das reinste Grau sein, welches selbst künstlich herzustellen, in der Regel mit Schwierigkeiten verknüpft ist, indem bald ein Stich in's Bläuliche, bald in's Bräunliche vorherrscht, der sich bei hinreichend intensiver Beleuchtung auch dem Auge leicht bemerklich macht. Bekanntlich zeigen die dunklen Flecken auf dem Monde derartige Farbentöne.

2) On the results of photometric experiments upon the light of the Moon etc. p. 257. Cambridge 1861.

presenting the dull, weather-worn aspect of the Earth, may rather resemble that of bright, fresh-fractured rocks, with their usual crystalline lustre, and that this condition may contribute to the appearances in question.«

Hierdurch würde also jener weisse Körper, welcher die hellsten Stellen der Mondoberfläche bedeckt noch die nähere Bestimmung erhalten, dass derselbe von partiell spiegelndem, krystallinischem Gefüge sein müsse[1]).

Fragt man nun, ob es auf der Erdoberfläche einzelne Stellen gebe, welche mit einem weissen Stoffe von krystallinischen Gefüge bedeckt sind, so muss diess mit Rücksicht auf die Eis- und Gletschermassen unserer Hochgebirge und die im Winter weithin ausgebreiteten Schneefelder bejaht werden. Diese Stellen würden daher einem Beobachter auf den Monde, wenn man von dem Einfluss der Erdatmosphäre absieht, bezüglich ihrer Farbe und des Polarisationszustandes ihres Lichtes, analoge Erscheinungen darbieten wie uns auf der Erde die hellsten Stellen der Mondoberfläche.

Allerdings könnten auch noch viele andre der uns bekannten Stoffe diesen Bedingungen genügen, indessen wird man nicht Anstand nehmen, die Analogie mit der Erdoberfläche so viel als möglich aufrecht zu erhalten, und deshalb für jenen weissen Körper am wahrscheinlichsten Schnee- und Eismassen voraussetzen, sobald sich zeigen lässt, dass mit dieser Annahme keine der uns bis jetzt bekannten Thatsachen im Wiederspruch steht.

---

1) Ich habe schon oben p. 111 darauf aufmerksam gemacht, dass auch das sehr schnelle Anwachsen der Helligkeit des Mondes, wenn er sich seiner vollständigen Opposition nähert, durch die Annahme solcher partiell spiegelnden Substanzen erklärt werden könnte. Bond ist bei seinen Beobachtungen über die Helligkeit des Mondes ganz zu demselben Resultate gelangt und bemerkt (a. a. O. p. 224) Folgendes:

»The brightness somewhat suddenly increasing when it (the Moon's surface) approaches opposition, as though the greater number of the reflecting facets of its asperities were disposed at right angles to the radius vector of the orbit, causing a sudden glance of light analogous to that which we may see in micaceous rocks.«

83.

Man hat in der Regel die Abwesenheit von Wasser auf dem Monde aus dem Umstande gefolgert, dass derselbe keine merklich lichtbrechende Atmosphäre besitzt. Die Richtigkeit dieser Argumentation ist in neuerer Zeit durch die bereits in zweiten Abschnitte dieser Schrift (p. 34) erwähnte Entdeckung HANSEN's erschüttert worden, dass der Schwerpunct des Mondes nicht mit dem geometrischen Mittelpuncte seiner Figur zusammenfällt. Andererseits scheint man aber auch hierbei unbeachtet gelassen zu haben, dass die brechende Kraft einer Wasserdampfatmosphäre, die sich im Maximum ihrer Spannkraft befindet, eine Function ihrer Temperatur ist, so dass, bei Annahme einer hinreichend niedrigen Temperatur, die über den Eis- und Schneemassen lagernde Wasserdampfatmosphäre selbst in dem Falle unmerklich sein würde, wenn jene von HANSEN entdeckte Anomalie nicht stattfände.

Was zunächst den Einfluss der Nichtcoïncidenz des Schwer- und Mittelpunctes auf die Anordnung und Vertheilung einer Mondatmosphäre betrifft, so wird es nicht ohne Interesse sein, hier die eigenen Worte HANSEN's aus seinem, an AIRY gesichteten, Briefe d. d. Gotha 1854, Nov. 3 wiederzufinden. Der Brief ist in den »Monthly Notices of the Royal Astromonical Society« Vol. XV. 1854 Nov. 10 in englischer Sprache mitgetheilt. Ich gebe hier die betreffenden Stellen in deutscher Uebersetzung aus FECHNER's Schrift über den Mond [1]),

Auf die in Rede stehende Frage übergehend bemerkt HANSEN a. a. O. Folgendes:

»Erlauben Sie mir zum Schluss einige wenige Bemerkungen über vorstehende Erklärung der Vergrösserung der Coefficienten der Mondstörungen. Aus dem oben angeführten Werthe des Factors folgt, dass der Mittelpunkt der Figur des Mondes ungefähr 59000 Meter, d. i. ungefähr 8 geographische Meilen (15 Meilen auf einen Aequatorgrad gerechnet) näher nach uns zu als der Schwerpunct liegt; wonach zwischen der uns zugekehrten und der von uns abgekehrten Mondhemisphäre ein beträchtlicher Unterschied in Betreff des Niveau, des Klima und aller andern

1) G. TH. FECHNER, Professor Schleiden und der Mond. Leipzig 1856.

davon abhängigen Umstände stattfinden muss. Da sich die Schichten von gleichförmiger Dichtigkeit nahe bezüglich zum Schwerpunct anordnen müssen, so folgt, wenn wir die Gestalt des Mondes als kugelförmig ansehen, dass der Mittelpunct der sichtbaren Mondscheibe ungefähr 59000 Meter über dem mittleren Niveau und der Mittelpunct der entgegengesetzten Hemisphäre fast eben so viel unter diesem Niveau liegt . . . . . . Nehmen wir den Mond für ein Ellipsoïd, das nach der Erde zu verlängert ist, so wird die der Erde nächste Halbkugel das mittlere Niveau ein wenig mehr übersteigen, und die entgegensetzte ein wenig mehr unter dasselbe fallen. . . . . .«

»Unter solchen Umständen haben wir uns nicht zu wundern, dass der Mond, von der Erde aus gesehen, ein dürres Aussehen hat, weder eine Atmospäre, noch thierisches oder pflanzliches Leben zeigt. Denn wenn auf den Monde ein verhältnissmässig eben so hoher Berg existirte, der also eine Höhe von 216000 Meter oder 29 geographischen Meilen hätte, so würde auf seinem Gipfel nicht die geringste Spur einer Atmosphäre oder von irgend etwas, was davon abhängt, vorhanden sein.

». . . . Das mittlere Niveau muss nahe an den Rändern des Mondes stattfinden, wonach wir berechtigt sind, zu erwarten, dass sich hier einige Spuren einer Atmosphäre werden entdecken lassen.«

»Fragen wir jetzt nach der Ursache dieser Beschaffenheit des Mondes, so halte ich es nicht für unmöglich, dass vulkanische und andere ähnliche Kräfte im Innern dieses Weltkörpers bei Weitem weniger Widerstand auf einer seiner Halbkugeln als auf der andern gefunden und daher viel grössere Erhebungen der Oberfläche auf der ersteren als letzteren bewirkt haben. Auch bin ich geneigt zu glauben, dass die sogenanten Rillen, welche man auf der Mondoberfläche wahrnimmt, und worüber die Selenographen im Ganzen noch zu keinem befriedigenden Schlusse gelangt zu sein scheinen, Risse oder Spalten sind, welche durch diese enormen Erhebungen verursacht worden.

Diess die Worte Hansen's. Mit Rücksicht auf die oben erwähnte Entdeckung von Spuren einer Atmosphäre in der Nähe des Mondrandes beabsichtige ich demnächst eine Reihe photometrischer Beob-

achtungen bei Sternbedeckungen anzustellen, um zu ermitteln, ob hierbei irgend welche Lichtschwächung des am Mondrande verschwindenden Sterns zu beobachten ist. Bei der Construction meines Photometers ist der Einfluss, welchen die Nähe des erleuchteten Theils der Mondscheibe auf die Beurtheilung der Helligkeit des Sternes macht, gänzlich eliminirt. Die bisher allgemein behauptete Thatsache, es verschwänden die Sterne am Mondrande ohne gänzliche Lichschwächung, verdient jedenfalls erst eine genauere, messende Prüfung, ehe man hieraus auf die Nichtexistenz einer merklichen Mondatmosphäre zu schliessen berechtigt ist[1].

Ebenso werden spectralanalytische Beobachtungen solcher, vom Monde verdeckten, Sterne schätzbare Beiträge zur Entscheidung der hier in Rede stehenden Frage liefern können.

Ein weit gewichtigeres Argument aber gegen die Existenz einer Mondatmosphäre ist bekanntlich der Umstand, dass die Strahlen eines Sternes in unmittelbarer Nähe des Mondrandes keine merkbare Ablenkung erfahren, und demgemäss keine wahrnehmbare Horizontalrefraction auf dem Monde stattfinden kann.

Unter Voraussetzung, dass eine solche Refraction selbst von der Grösse einer Sesunde sich noch unsern Beobachtungen entzöge, hat Bessel in Folge einer theoretischen Untersuchung[2]) geschlossen,

---

1) Ich erinnere hierbei übrigens an die höchst merkwürdigen Erscheinungen, welche 1857. Jan. 2 bei einer Verdeckung des Jupiter durch die Mondscheibe von Lassell, Simms und Andern beobachtet wurden. — Beim Wiederhervortreten Jupiters hinter der Mondscheibe sah Lassell eine schmale Schattenlinie, welche sich unmittelbar auf den Mondrand aufsetzte und sich auf der hellen Jupitersscheibe projicirte. Lassell vergleicht diese Schattenlinie in ihrem Ansehen mit dem auf der Saturnskugel projicirten dunklen Ringe.

»But the most remarkable phenomenon of the occultation was that during the emersion, a shadowy line appeared projected on the planet from the edge of the moon, in character, magnitude, and intensity extremely like Saturns obscure ring projected on the ball.«

Die angewandte Vergrösserung war 316, mit welcher Lassell gewöhnlich den Saturn beobachtet. Nachdem noch besonders die günstigen Umstände hervorgehoben wurden, unter denen diese Beobachtung stattfand, schliesst Lassell seine Notiz mit dem Satze:

»The phenomenon was unmistakabel, and I am satisfied there was no illusion.« Monthly Notices of R. A. S. Vol. XVII. p. 70.

W. Simms beobachtete eine ganz analoge Erscheinung. Ib. Vol. XVII. p. 80. Zu beiden Mittheilungen sind in den »Monthly Notices« Zeichnungen gegeben.

2) Astronomische Nachrichten Bd. 11. No. 263. p. 411 ff.

dass eine Mondatmosphäre von der Beschaffenheit der unsrigen und in einer Höhe von 4000 Toisen über der Mondoberfläche, nur $\frac{1}{968}$ der Dichte der irdischen Luft bei 0^0 und mittlerem Barometerstand betragen müsste, um den astronomischen Beobachtungen zu genügen.

Die Formel, welche Bessel als Resultat seiner Untersuchung a. a. O. p. 415 angiebt, ist folgende:

$$\varrho = \frac{R}{\mu} \frac{1}{1125\sqrt{\lambda}} \cdot e^{\frac{\lambda(r-a)}{26598}}$$

Hierin bedeutet:

- a den Mondradius,
- r den Abstand der in Rechnung gezogenen Schicht vom Mondmittelpuncte,
- λ die Dichte der Mondatmosphäre in Einheiten der irdischen, bei gleicher Temperatur und unter gleichem Druck,
- ϱ die Dichte der in der Höhe $r - a$ über der Mondoberfläche gelegenen Schicht in Einheiten der irdischen bei 0^0 und mittlerem Barometerstand,
- μ die lichtbrechende Kraft der Mondatmosphäre in Einheiten der irdischen bei gleichem Druck und gleicher Temperatur,
- R die Horizontalrefraction der betrachteten Schicht in Secunden ausgedrückt.

Indem Bessel $R = 1''$ annimmt und μ und λ, in Uebereinstimmung mit den analogen Grössen unserer Atmosphäre, gleich der Einheit setzt, findet er in der Höhe von 4000 Toisen $= r - a$ über der Mondoberfläche:

$$\varrho = \frac{1}{968}.$$

Um also den Beobachtungen zu genügen, müsste die elastische Flüssigkeit, aus welcher die Mondluft besteht, unter Voraussetzung, dass ihre lichtbrechende Kraft μ mit derjenigen unserer Atmosphäre übereinstimmt, in der angenommenen Höhe nur $\frac{1}{968}$ von der Dichte der irdischen Atmosphäre an der Oberfläche der Erde betragen.

Wenn also überhanpt der Mond eine Atmosphäre von der chemischen Beschaffenheit der unsrigen besitzt, so muss die Quantität

oder Masse derselben eine so geringe sein, dass hierdurch der oben gefundenen Dichtigkeitsgrenze genügt wird.

84.

Ich will jetzt den Fall untersuchen, wo bei gänzlicher Abwesenheit einer aus permanenten Gasen bestehenden Atmosphäre die Oberfläche des Mondes mit Wasser oder Eis von einer bestimmten Temperatur bedeckt ist. Es muss hierbei zunächst die Frage kurz erörtert werden, ob eine solche Annahme überhaupt zulässig ist, d. h. ob auf der Oberfläche eines Himmelskörpers, bei Abwesenheit einer Atmosphäre, Wasser im festen oder flüssigen Aggregatzustande bestehen könne. Diese Frage wird in der Regel von denjenigen verneint, welche glauben, aus der Abwesenheit einer Mondatmosphäre unmittelbar auch die Abwesenheit von Wasser auf dem Monde folgern zu können.

Es lässt sich jedoch leicht zeigen, dass dieser Schluss auf einer gänzlich falschen Auffassung eines Versuches beruht, welcher gewöhnlich bei der Lehre vom Luftdruck angeführt wird, um die Abhängigkeit des Siedepunctes einer Flüssigkeit von dem auf ihrer Oberfläche lastenden Druck nachzuweisen.

Wird ein Gefäss mit Wasser unter den Recipienten einer Luftpumpe gestellt, so beginnt bei lebhaftem Evacuiren das Wasser zu sieden. Diese Dampfentwickelung aus dem Innern und an der Oberfläche des Wassers dauert jedoch nur so lange, als man die Luftpumpe in Thätigkeit erhält. Wird letztere unterbrochen, so hört auch sehr bald das Sieden und die Verdampfung des Wassers auf, indem sich im Innern des Recipienten eine Wasserdampfatmosphäre bildet, welche sich bei der herrschenden Temperatur im Maximum ihrer Spannkraft befindet und daher jeder weiteren Verdunstung an der Oberfläche des Wassers das Gleichgewicht hält. Dieses Gleichgewicht wird aber durch Wegnahme jener Wasserdampfatmosphäre, was bei fortdauerndem Evacuiren geschieht, stets gestört.

Das fortdauernde V e r d u n s t e n der Flüssigkeiten unter dem Recipienten einer in Bewegung gesetzten Luftpumpe beruht also nicht auf Verminderung des Druckes der a t m o s p h ä r i s c h e n L u f t, sondern auf Beseitigung der aus der Flüssigkeit gebildeten G a s-

atmosphäre und der dadurch bewirkten Verminderung des Wasserdampfdruckes.

Befände sich daher aller, in unserer Atmosphäre vorhandener, Wasserdampf im Maximum seiner Spannkraft, so könnte man sich die gesammte Atmosphäre, soweit sie nicht aus Wasserdampf besteht, entfernt denken, ohne dass hierdurch irgend welche Veränderung im Verdunstungsprozess der Gewässer vor sich ginge. Aus diesen Betrachtungen ergiebt sich demnach Folgendes:

Die Oberfläche eines Himmelskörpers kann mit flüssigem oder gefrornem Wasser bedeckt sein, ohne dass die gleichzeitige Annahme einer aus permanenten Gasen bestehenden Atmosphäre für die Existenz des Wassers erforderlich wäre. Ein solcher Körper wird alsdann lediglich von einer Wasserdampf-Atmosphäre umgeben sein, welche sich stets im Maximum ihrer Spannkraft befindet.

Eine einfache Ueberlegung zeigt, dass dieses Maximum der Spannkraft nur eine Function der Temperatur und nicht der Schwerkraft sei.

Es bietet sich demnach die Frage dar, wie niedrig die Temperatur des Eises auf dem Monde anzunehmen sei, damit die Refraction der vorhandenen Wasserdampfatmosphäre eine für unsere Beobachtungen verschwindende sei.

Aus neueren Versuchen JAMIN's, welche derselbe mit Hülfe seines Interferenzialrefractors angestellt hat[1], berechnet sich die Brechungskraft des Wasserdampfes bei 0^0 und 760^{mm} Druck zu 0.000521, während die brechende Kraft der Luft unter gleichen Bedingungen 0.000589 ist.

Mit Berücksichtigung dieser Werthe soll nun die Dichtigkeitsgrenze der Wasserdampfatmosphäre unmittelbar an der Mondoberfläche berechnet werden, welche nicht überschritten werden darf, damit die Horizontalrefraction R nicht grösser als 1 Secunde wird.

Die Dichtigkeit des Wasserdampfes in Einheiten der Luft bei

1) J. JAMIN, Mémoire sur l'indice de réfraction de la vapeur d'eau. Ann. d. chim. (3) LII. 171—188.

gleicher Temperatur und Spannung ist 0.6225; es müssen also in der BESSEL'schen Formel folgende Werthe substituirt werden:

$$R = 1$$
$$\mu = 0.8845$$
$$\lambda = 0.6225$$
$$r - a = 0 \,.$$

Hierdurch ergiebt sich:

$$\varrho = \frac{1}{784}$$

d. h. die Dichtigkeit der Wasserdampfatmosphäre an der Mondoberfläche muss $\frac{1}{784}$ von der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft bei 0^0 und mittlerem Barometerstande betragen, um in der untersten Schicht eine Horizontalrefraction von einer Secunde hervorzubringen.

Berechnet man mit Hülfe der bekannten Tabellen, welche von GAY-LUSSAC, REGNAULT u. A. für Dichtigkeit der Wasserdämpfe im Maximum ihrer Spannkraft bei verschiedenen Temperaturen aufgestellt worden sind, die Temperatur, bei welcher die Wasserdämpfe die oben gefundene Dichtigkeit besitzen, so findet man:

für eine Temperatur von -15^0 C. $\varrho = \frac{1}{625}$

für eine Temperatur von -20^0 C. $\varrho = \frac{1}{833}$

Hieraus würde folgen, dass allerdings flüssiges Wasser auf der uns zugekehrten Mondhälfte nicht vorhanden sein kann, dass dagegen die Annahme von Schnee- und Eismassen keiner der bis jetzt bekannten Beobachtungen widerstreitet, wenn man diesen Massen eine mittlere Temperatur von -20^0 C. beilegt. Diese Temperatur ist, wie man sieht, für den sehr ungünstigen Fall berechnet worden, dass die lichtbrechende Schicht in unmittelbarer Nähe der Mondoberfläche liege. Sie wird also jedenfalls noch höher sein können, wenn jene Schicht in dem von BESSEL angenommenen Abstande von der Oberfläche liegt.

Es könnte vielleicht gewagt erscheinen, bei der fast vierzehntägigen Bestrahlung eines Punctes der Mondoberfläche eine so niedrige Temperatur anzunehmen. Aber abgesehen davon, dass man die

ebenso lange andauernde Wärmeausstrahlung der beschatteten Theile zu berücksichtigen hat, kann sich die mittlere Dichtigkeit und Spannkraft der Wasserdämpfe im Allgemeinen nur nach der Temperatur der kältesten Stellen bestimmen. Es ist dies ein bekannter Satz aus der Theorie des Gleichgewichts von Dämpfen im leeren Raum, welche sich in Berührung mit ihrer Entwickelungsflüssigkeit befinden.

Demnach muss alle Wärme, welche durch Insolation den Eismassen mitgetheilt wird, fast ausschliesslich zur Verdampfung des Eises verwandt werden, wobei die gebildeten Wasserdämpfe sofort nach den kälteren Stellen abfliessen, um dort ihre latente Wärme bei der Condensation wieder abzugeben.

Dieser Wärmetransport wird bei der Abwesenheit permanenter Gase mit sehr grosser Geschwindigkeit vor sich gehen, so dass hierdurch vielleicht die auffallend geringe Wärmestrahlung des Vollmondes ihre einfache Erklärung findet.

Die gänzliche Abwesenheit von Wolkenbildung trotz des vorhandenen Wasserdampfes auf dem Monde darf aus dem angeführten Umstande ebensowenig befremden.

Die grosse Mannichfaltigkeit der meteorologischen Prozesse auf unserer Erde wird wesentlich durch die gleichzeitige Anwesenheit zweier Atmosphären von variabler Mischung bedingt, nämlich einer aus permanentem und einer andern aus condensirbarem Gase bestehenden. Die längere Anwesenheit von Wolken in unserem Dunstkreise wäre gar nicht möglich, diente die aus Stickstoff und Sauerstoff bestehende Atmosphäre den durch Condensation gebildeten Wasserbläschen nicht als Träger.

Die vorstehend angestellten Betrachtungen haben im Wesentlichen nur den Zweck, die bisher für die Abwesenheit von Eis- und Schneemassen auf dem Monde angeführten Argumente als nichtig nachzuweisen, ohne hierdurch diese Frage in ihrem positiven Theile endgültig entscheiden zu wollen [1].

---

1) Auch die Spectralanalyse des Mondlichtes liefert einen Beweis für die jedenfalls sehr geringe Dichte einer Mondatmosphäre. Vgl. HUGGINS und MILLER Phil. Trans. 1864 p. 420: »The result of this spectrum analysis of the light reflected by the moon is wholly negative as to the existence of any considerable lunar atmosphere.«

Meines Erachtens sind hierzu ebensowohl genauere Untersuchungen über die thermische und chemische Intensität der Mondstrahlen im Vergleich zu den auf der Erde von der Sonne bestrahlten Körpern erforderlich, als auch namentlich eine weitere Fortsetzung der photometrischen Bestimmungen verschiedener Theile der Mondoberfläche.

Sollten sich die Resultate aller dieser Beobachtungen dahin vereinigen, dass die hellen Stellen der Mondoberfläche aus einem weissen, krystallinischen Stoffe bestehen, so würde ich nicht anstehen, denselben für Schnee- und Gletschermassen zu erklären.

Schon mit Berücksichtigung des ehemaligen Zusammenhanges der Erd- und Mondmasse wäre nach der obén entwickelten Kosmogenie KANT's die gänzliche Abwesenheit eines auf unserer Erde so allgemein verbreiteten Stoffes wie des Wassers, auf dem uns nächsten Himmelskörper sehr räthselhaft.

85.

Es ist bekannt, dass die Ansicht, der Mond sei mit Schnee und Eis bedeckt, keine neue ist. Indessen wäre es kaum möglich, hier allen Ansprüchen auf Priorität der Idee gerecht zu werden, indem die Literatur über die physische Beschaffenheit der Mondoberfläche eine so grosse ist, dass eine gewissenhafte und sorgfältige Sichtung derselben den Gegenstand einer umfangreichen Abhandlung bilden würde. Je geringer die Summe der zuverlässig beobachteten Thatsachen auf diesem Gebiete war, desto mehr erging man sich in vagen Conjecturen, die bei ihrer grossen Mannichfaltigkeit auch Richtiges enthalten mussten.

Es leuchtet *a priori* ein, dass die Frage nach der chemischen und physikalischen Beschaffenheit eines so weit entfernten Körpers nicht lediglich auf dem bisher fast ausschliesslich betretenen topographischen Wege[1]) entschieden werden konnte. Ein wesentlicher Punct, über welchen man hierbei zunächt in's Klare kommen

1) Die vollständigste Topographie des Mondes haben BEER und MÄDLER in ihrem Werke: »Der Mond nach seinen kosmischen und individuellen Verhältnissen, oder allgemeine, vergleichende Selenographie, Berlin 1837« geliefert.

musste, war offenbar die Farbe jener hellen Stellen auf dem Monde, und ich glaube in vorliegender Schrift die ersten Schritte zu einer exacten Lösung dieser Frage gethan zu haben.

Indessen kann ich den hier behandelten Gegenstand nicht verlassen, ohne der neuesten, über die Beschaffenheit der Mondoberfläche aufgestellten Ansicht Erwähnung zu thun. Dieselbe stützt sich wesentlich auf topographische Elemente und gelangt ebenfalls zu dem vorstehend nur als wahrscheinlich hingestellten Resultate, dass die Einwirkung von Eis- und Gletschermassen auf der Mondoberfläche nicht in Abrede zu stellen sei.

In einer im vergegangenen Jahre erschienen Abhandlung von Dr. E. FRANKLAND, Professor der Chemie an der Royal Institution von Grossbritannien: »Ueber die physikalische Ursache der Eiszeit«[1]), werden am Schlusse Betrachtungen über den in Rede stehenden Gegenstand angestellt. Der Verfasser sagt dort a. a. O. p. 445. Folgendes:

> »Eine sorgfälltige länger als ein Jahr fortgesetzte Beobachtung der Mond-Oberfläche mit einem versilberten Glasreflector von 7 Zoll Apertur und scharfer Vergrösserung, hat auf mich den Eindruck gemacht, dass unser Satellit, wie sein Hauptplanet, eine Eiszeit durchgemacht hat, und dass wenigstens mehrere der Thäler, Furchen und Striche auf seiner Oberfläche nicht unwahrscheinlich von einer früheren Eiswirkung herstammen. Ungeachtet der vortrefflichen Schärfe der neueren Fernröhre, lässt sich nicht erwarten, dass andere als die riesenhaftesten der characteristischen Details eines alten Gletscherbodens sichtbar gemacht werden. Unter günstigen Umständen erreicht die End-Moräne eines Gletschers ungeheure Dimensionen und folglich würde, von allen Kennzeichen eines Eisthales, dieses am ersten wahrnehmbar sein. Zwei solcher End-Moränen, eine von ihnen eine doppelte, scheinen mir auf der Mondoberfläche nachweisbar zu sein. Die erste liegt nahe am Ende jenes merkwürdigen Striches, welcher nahe an der Basis von TYCHO anfängt, unter den südöstlichen Wall von BULLIALDUS vorbeigehend, in dessen Ring er einzuschneiden scheint, und sich allmälig verliert, nach-

1) Deutsch in POGGENDORFF's Annalen Bd. CXXIII, p. 418—477.

dem er den Krater 216 (LUBIENITZKY) passirt hat. Genau diesem letzten Krater gegenüber und sich fast quer über besagten Strich ausdehnend, befinden sich zwei nordwärts gekrümmte Rücken, die den Beobachter an die concentrischen Moränen des Rhone-Gletschers erinnern. Jenseits des zweiten und äussersten Rückens fällt ein Knorren (*talus*) allmälig nach Norden in das allgemeine Niveau der Mondsoberfläche ab. Diese Rücken sind während der ganzen Dauer der Beleuchtung dieses Theils der Mondsfläche sichtbar; allein es ist nur etwa am dritten Tage nach dem ersten Viertel und bei correspondirender Phase des abnehmenden Mondes, wenn die fast horizontal auffallenden Sonnenstrahlen die Details dieses Theils der Oberfläche in starkes Relief versetzten, dass die Erscheinungen die eben aufgestellte Erklärung einflössen.«

»Der andere, einer End-Moräne entsprechende Rücken, findet sich am nördlichen Ende jenes prächtigen Thales, welches am östlichen Rande von *Rheita* vorbei geht. Dieser Rücken ist fast halbrund und bedeutend erhaben sowohl über das nördliche Ende des Thals, als auch über die allgemeine Oberfläche des Mondes. Er ist sichtbar etwa vier Tage nach Neu- und Vollmond; allein die Lage des Beobachters rücksichtlich der Lichter und Schatten machen sein Erscheinen in den Strahlen der aufgehenden Sonne bei weitem am auffallendsten«

Ich habe diese Worte FRANKLAND's hier ausführlich mitgetheilt, um den Astronomen, welche im Besitze kräftiger Instrumente sind, dadurch Gelegenheit und Anregung zu geben, die aufgestellten Analogien zu prüfen und weiter zu verfolgen. Was mich betrifft, so hatte ich bereits vor dem Erscheinen der FRANKLAND'schen Abhandlung meinen hiesigen Freunden gegenüber dieselbe Ansicht geäussert. Die grossen Gletschermassen des südlichen Wallis und des Südabhanges der Berner Alpen habe ich bei einem zweijährigen Aufenthalte in der Schweiz vielfach durch eigene Anschauung kennen gelernt und ich konnte mich, bei genauerer Betrachtung einzelner Theile der Mondoberfläche in zwölffüssigen Refractor der hiesigen Sternwarte, des Eindrucks der Analogie dieser Theile mit Gletscher- und Moräne-Bildungen nicht erwehren.

Schliesslich sei hier noch einer Hypothese des deutschen Philosophen ARTHUR SCHOPENHAUER gedacht, welche im Wesentlichen mit den oben aufgestellten Ansichten übereinstimmt. Dieselbe wird von ihm mit folgenden Worten eingeleitet[1]):

»Hier mag nun noch eine Hypothese über die Mondoberfläche eine Stelle finden, da ich sie zu verwerfen, mich nicht entschliessen kann, obwohl ich die Schwierigkeiten, denen sie unterworfen ist, recht wohl einsehe, sie auch nur als eine gewagte Conjectur betrachte und mittheile. Es ist diese, dass das Wasser des Mondes nicht abwesend, sondern gefroren sei, indem der Mangel einer Atmosphäre eine fast absolute Kälte herbeiführt, welche sogar die, ausserdem durch denselben begünstigte Verdünstung des Eises nicht zulässt.«

Nachdem SCHOPENHAUER auf den zwei folgenden Seiten die Gründe für die Annahme einer sehr niedrigen Temperatur des Mondes entwickelt hat, fährt er p. 142 a. a. O. folgendermassen fort:

»Dieser Hypothese zufolge hätten wir alles Wasser auf dem Monde als in Eis verwandelt und namentlich den ganzen, so räthselhaften, graueren Theil seiner Oberfläche, den man allezeit als *maria* bezeichnet hat, als gefrornes Wasser anzusehen, wo alsdann seine vielen Unebenheiten keine Schwierigkeit mehr machen und die so auffallenden, tiefen und meist geraden Rillen, die ihn durchschneiden, als weit klaffende Spalten im geborstenen Eise zu erklären wären, welcher Auslegung ihre Gestalt sehr günstig ist.«

Hierzu bemerkt SCHOPENHAUER in einer Anmerkung:

»Der Pater SECCHI in Rom schreibt, bei Uebersendung einer Photographie des Mondes, am 6. April 1858: *très remarquable dans la pleine lune est le fond noir des parties lisses, et le grand éclat des parties raboteuses: doit-on croire celles-ci couvertes de glaces ou de neige?*« (S. Comptes rendus, 28 April 1858.)

---

1) A. SCHOPENHAUER, Parerga und Paralipomena, 2. Aufl. Bd. II. p. 140 Berlin 1862.

86.

Die entfernteren Körper unseres Planetensystems gestatten uns in topographischer Beziehung bei weitem weniger Anhaltspunkte zur Beurtheilung der physischen Beschaffenheit ihrer Oberflächen als der so nahe befindliche Trabant unserer Erde.
Es erlangen daher für diese Körper die photometrischen Verhältnisse eine noch höhere Bedeutung als für den Mond.

Im Allgemeinen dürften sich folgende Erscheinungen anführen lassen, welche bei jedem Planeten näher festgestellt werden müssen, um als Material zu Schlüssen über die physische Beschaffenheit seiner Oberfläche verwerthet zu werden.

1) Die Topographie der dunklen Flecken oder Streifen einer Planetenscheibe.
2) Die Vertheilung des Lichtes auf derselben, bezüglich der Rand- und Centraltheile.
3) Die optische und chemische Albedo des Planeten.
4) Die relative Helligkeit der Phasen und deren Gestalt.
5) Die Farbe und die spectralanalytischen Eigenschaften des vom Planeten ausgestrahlten Lichtes.

Die hier angedeuteten Eigenschaften sind in solcher Reihenfolge aufgeführt, dass die Untersuchung der zuletzt angegebenen auch bei denjenigen Planeten angestellt werden kann, welche die Beobachtung einer Scheibe nicht mehr gestatten.

Ich will nun, mit der Venus beginnend, für alle Planeten kurz alles dasjenige zusammenstellen, was wir bezüglich der oben erwähnten fünf Puncte von jedem Planeten wissen. Um mich nicht in weitläufige Discussionen einzulassen, werde ich hierbei die von verschiedenen Beobachtern erlangten Resultate einfach als Facta hinstellen, indem ich es bei der ausführlichen Quellenangabe dem Leser überlassen darf, die grössere oder geringere Zuverlässigkeit der mitgetheilten Data selber zu prüfen. Selbstverständlich sind hierbei vorzugsweise die neuesten Arbeiten berücksichtigt, in denen man dann auch in der Regel die ältere Literatur findet.

Venus lässt an ihrer Oberfläche fast gar keine oder doch nur äusserst schwer wahrnehmbare Flecken erkennen.

Die Vertheilung des Lichtes auf ihren Phasen ist in sofern characteristisch, als dasselbe sich nach der Schattengrenze hin viel allmäliger abschattirt als dies beim Monde der Fall ist. Der beleuchtete Rand strahlt zuweilen in sehr intensivem Lichte.

Die Gestalt der Phasen weicht durch die Anwesenheit der sogenannten Hörner und deren mannigfach wechselnde Formen wesentlich von der Gestalt der Mondphasen ab. Ausserdem ist die beobachtete Breite der Phase stets kleiner als die berechnete[1]).

Die Lichtstärke der Phasen ist trotz ihrer Kleinheit in der Nähe der unteren Conjunction eine viel grössere, als man es nach der Analogie mit dem Monde oder mit der Beleuchtung irgend einer Kugel aus zerstreut reflectirendem Stoffe erwarten sollte. Für diese kleinen Phasen ist die LAMBERT'sche Formel auch nicht entfernt anwendbar[2].

Die Farbe der Venus ist eine gelblich weisse, und die Spectralanalyse hat trotz der hohen Intensität des Lichtes und der Deutlichkeit des Spectrums keine neuen Linien in demselben entdecken lassen[3]).

Mars zeigt in der Nähe seiner Pole zwei helle Flecken, deren Ausdehnung von dem Stande der Mars-Axe zur Sonne abhängt. Es verkleinern sich diese Flecke, wenn der betreffende Pol der Sonne zugekehrt ist und sie vergrössern sich, wenn dieser Pol, nach Ablauf eines halben Mars-Jahres, sich wieder von der Sonne abwendet. Die übrigen dunklen Flecken scheinen, im Grossen und Ganzen genommen, ihre Gestalt wenig zu verändern obschon innerhalb dieser Flecken und an ihren Grenzen zahlreiche Veränderungen constatirt sind[4]). Die Mars-Flecken unterscheiden sich durch ihre Form sehr wesentlich von den Aequatorialstreifen Jupiters und Saturns.

In der Opposition, durch kräftige Instrumente betrachtet, erscheint

---

1) BEER und MÄDLER, Beiträge zur physischen Kenntniss der himmlischen Körper im Sonnensysteme. Weimar 1841. p. 129—140.
SCHRÖTER, Aphroditographische Fragmente. Helmstedt 1796.

2) Vgl. das früher p. 155 hierüber Gesagte.

3) HUGGINS und MILLER, Phil. Trans. 1864. p. 423.

4) BEER und MÄDLER, Beitr. z. phys. Kenntniss der himml. Körper etc. p. 109—126.
J. NORMAN LOCKYER, Observations on the planet Mars. Memoirs of the Royal Astronomical Society. Vol. XXXII. 1864. p. 179—192.

Mars am Rande heller als in der Mitte[1]. Er besitzt unter allen beobachteten Planeten das kleinste, mittlere Reflexionsvermögen für optische Strahlen ($\mu = 0.2672$). Von den untersuchten irdischen Stoffen würde die Albedo des Mars am meisten mit derjenigen von weissem Sandstein ($\mu = 0.237$) übereinstimmen.

Die Intensitäts-Curve des Mars, welche die Abhängigkeit seiner Lichstärke von der Phase ausdrückt, ist in der Nähe der Opposition eine sehr steile. Dagegen vermindert sich diese Steilheit schon bei einer Phase von 140^0 sehr beträchtlich, so dass bei kleineren Werthen von v diese Curve eine weit geringere Steigung als die entsprechende Curve beim Monde besitzt. (Vgl. p. 127 ff.)

Die Farbe des Mars ist eine entschieden röthliche und die Spectralanalyse zeigt eine Anzahl dunkler Linien in den stärker brechbaren Strahlen seines Spectrums[2].

87.

Jupiter zeigt ausser grauen Aequatorialstreifen von Zeit zu Zeit einzelne Flecke von grösserer Schwärze, deren sich schon Cassini zur Bestimmung der Rotationszeit dieses Planeten bediente[3].

Die Jupiters-Scheibe ist am Rande dunkler als in der Mitte[4].

Die optische Albedo Jupiters ist eine der höchsten unter den Planeten ($\mu = 0.6238$). Mit dem Reflexionsvermögen irdischer Stoffe verglichen, müsste Jupiter schon zu den weissen Körpern gezählt werden.

Die chemische Albedo dieses Planeten ist eine ausserordentlich hohe. Bond findet dieselbe doppelt so gross als die chemische Albebo von weissem Papier, d. h. Jupiter erfordert zur Herstellung eines photographischen Bildes von bestimmter Intensität

---

1) G. P. Bond, Memoirs of the American Academy, New Series, Vol. VIII. p. 239.

2) Huggins und Miller, Philos. Trans. 1864. p. 423.

3) Beer und Mädler, Beiträge etc. p. 91.

4) Bond, Mem. of Amer. Acad, Vol. VIII. p. 239. Id. Monthly Notices of R. A. S. Vol. X. p. 17. Diese Abnahme der Helligkeit nach dem Rande gilt auch für chemische Strahlen.

nur die Hälfte von der Zeit, welche ein Blatt sehr weissen Papiers unter denselben Beleuchtungsverhältnissen zur Erzeugung eines gleich intensiven Bildes gebrauchen würde[1]).

Indem BOND ausserdem die zur Hervorbringung gleich intensiver Photographien erforderlichen Zeiten beim Monde und Jupiter verglich, fand er, mit Berücksichtigung des verschiedenen Abstandes beider Körper von der Sonne, dass Jupiter neun Mal weniger Zeit erfordert als der Vollmond unter gleichen Beleuchtungsverhältnissen erfordern würde. Bei Vergleichung der Centraltheile des Mondes mit den hellen Streifen Jupiters ergab sich für letztere sogar eine sieben und zwanzig Mal geringere Expositionszeit[2]).

Nach den Untersuchungen von HANKEL[3]), BUNSEN und ROSCOE[4]) verhalten sich diese Expositionszeiten umgekehrt wie die Intensitäten der reflectirten Strahlenmenge, so dass also die Centraltheile Jupiters von einer gewissen Quantität auf sie fallenden Sonnenlichtes sieben und zwanzig Mal mehr chemische Strahlen als der Mond reflectiren.

Ein Einfluss der Phase auf die Helligkeit hat sich nach meinen Beobachtungen (vgl. p. 133) beim Jupiter nicht gezeigt. Sollte sich diess bestätigen, so wäre hierdurch ein sehr wesentlicher Unterschied zwischen der Oberflächenbeschaffenheit dieses Planeten einerseits und der des Mars und des Mondes andrerseits indicirt. Denn bei derselben Phasendifferenz, bei welcher Jupiter von mir beobachtet wurde, hätte der Mond schon eine Helligkeitsdifferenz von zehn Procent und der Mars eine noch grössere zeigen müssen (vgl. p. 127.)

Die Farbe des Jupiter ist eine gelbliche.

---

1) BOND, Ibid. p. 281 ff.

2) »By comparing the exposures for the Moon with those for Jupiter the photographic intensity of the latter is found to be *nine* times that of the average surface of the full Moon, including the whole visibel hemispheres of both bodies, and *twenty-seven* times greater if we have regard only to the central regions of the Moon and the bright belts of the planet.«

BOND, ibid. p. 223.

3) HANKEL, Messungen über die Absorption der chemischen Strahlen des Sonnenlichtes. Abhandl. der K. sächs. Gesellschaft d. Wissenschaften zu Leipzig 1862. Bd. 9. p. 55.

4) BUNSEN und ROSCOE, Photochemische Untersuchungen. POGGENDORFF'S Ann. Bd. CXVII. p. 529.

Die Spectralanalyse seines Lichtes zeigt im rothen, schon etwas dunklerem, Theile des Spectrums eine starke Linie (»strong line«), welche sich bei genauerer Betrachtung in zwei oder mehrere Linien auflöst. Vergleichende Beobachtungen am Monde in gleicher Höhe mit Jupiter haben gezeigt, dass diese Linien in Folge einer Veränderung des Sonnenlichtes an der Oberfläche Jupiters entstehen. Diese Linie im Spectrum des Jupiterslichtes scheint mit einer, jedoch viel schwächeren, Linie im Spectrum unserer Atmosphäre zu coïncidiren. Ausserdem sind besondere Linien im orangefarbenen Theile des Jupitersspectrums wahrzunehmen[1]).

Die vier Trabanten, welche den Jupiter umkreisen, können zur Beurtheilung der physischen Beschaffenheit seiner Oberfläche von hoher Wichtigkeit werden. Es mögen deshalb hier kurz die wesentlichsten Erscheinungen, welche dieselben in dieser Beziehung darbieten, angeführt werden.

Die Jupitersmonde zeigen Perioden in ihrer Lichtstärke, deren Dauer mit der Umlaufszeit eines jeden Mondes um den Jupiter übereinstimmt[2]).

Der erste und dem Jupiter zunächst liegende Mond ist »einer der glänzendsten und übertrifft zuweilen sogar den dritten und grössten. Sein hellgelbes, ruhiges Licht ist dem der Jupitersscheibe in ihren hellsten Theilen völlig gleich.«

Der zweite ist der kleinste unter den Jupiterstrabanten, »erscheint aber doch gewöhnlich heller als der vierte und zuweilen sogar eben so hell als der erste und dritte.«

Der dritte ist der grösste der Monde und erscheint in der Regel als der hellste. »Der erste scheint indess ein intensiveres Licht zu haben, da sonst das Uebergewicht des dritten (beträchtlich grösseren) wohl entschiedener hervortreten müsste. Oft ist er dem ersten an Glanz gleich und in seltenen Fällen selbst dunkler als dieser. Die gelbe Farbe spricht sich in ihm am bestimmtesten aus.«

---

1) Huggins und Miller, Phil. Trans. 1864. p. 421 und 422.

2) W. Herschel, Observations of the changeable brightness of the satellites of Jupiter, and of the variation in their apparent magnitudes. Phil. Trans. 1797. II. p. 332—351.

Beer und Mädler, Beiträge zur phys. Kenntniss der himml. Körper. p. 101—104.

Der vierte und vom Jupiter am weitesten entfernte Mond »unterscheidet sich von den übrigen Jupitersmonden durch eine etwas dunklere, mehr bläulich-graue Färbung, weshalb er auch gewöhnlich als der schwächste erscheint, obgleich er an Grösse nur dem dritten in etwas nachsteht. Doch bleibt sich dies nicht gleich und man kann ihn periodisch eben so hell als die übrigen finden«[1]).

Beim Vorübergange der Satelliten vor der Jupitersscheibe projicirt sich besonders der dritte, sobald er in die Mitte der Scheibe kommt, häufig als ein so schwarzer Fleck auf derselben, dass er bezüglich seiner Schwärze nicht von seinem, gleichzeitig auf der hellen Jupitersscheibe befindlichen, Schatten zu unterscheiden ist.

Bond beschreibt diese Erscheinung folgendermassen:

»On the 28th. of January, 1848, during the transit of the shadows of the first and third satellites, the third satellite itself was seen with the great refractor under very beautiful definition, as a black spot between the two shadows, and not to be distinguished from them except by the place it occupied. It was smaller than its shadow in the proportion of 3 to 5, not duskish simply, but quite black like the shadows. On the 11th of March it was again seen dark on the disc, smaller than its shadow«[2]).

88.

Saturn zeigt auf seiner Oberfläche graue, parallel dem Aequator gerichtete Streifen, analog denen des Jupiter. Die Saturnsscheibe ist am Rande dunkler als in der Mitte.

Ich habe mich vergeblich bemüht, über diese Thatsache, mit

---

1) Mädler, Astronomie 5. Aufl. (1861) p. 251—255.
Beer und Mädler, Beiträge zur phys. Kenntniss der himml. Körper. p. 103 ff.
W. Herschel, in seiner oben citirten Abhandlung, erhält im Wesentlichen dasselbe Resultat.

Ebenso stimmen hiermit sehr zahlreiche und sorgfältig ausgeführte, aber noch nicht veröffentlichte, Beobachtungen von Herrn Dr. Auwers in Gotha überein, welche derselbe die Güte hatte, mir für meine Untersuchungen zur Verfügung zu stellen.

2) Bond, Monthly Notices of R. A. S. Vol. X. p. 17.

Ausnahme des unten Angeführten, bestimmte Angaben zu finden; es scheint, als habe die Beobachtung des Ringes und seiner Erscheinungen alle Aufmerksamkeit so sehr in Anspruch genommen, dass jener Helligkeitsdifferenz überhaupt kein besonderes Interesse zu Theil geworden ist. Zahlreiche Abbildungen stellen indessen die Saturnsscheibe stets am Rande dunkler als in der Mitte dar[1]).

Am 8. Juni dieses Jahres, $8^h\ 30^m$, beobachtete ich in Gemeinschaft mit dem Director der Berliner Sternwarte, Prof. FÖRSTER, den Saturn im Berliner Refractor. Das Bild war ausserordentlich schön und projicirte sich auf dem durch die Dämmerung noch stark erleuchteten Himmelsgrunde. Sowohl FÖRSTER als ich erkannten auf das Unzweideutigste, dass Saturn nach den Rändern hin beträchtlich dunkler als in der Mitte war. Ich habe dieselbe Beobachtung einige Tage später am Leipziger Refractor mit demselben Erfolge wiederholt[2]). Es ist jedoch hierbei sehr wesentlich, in der Dämmerung zu beobachten, indem hierdurch jede Contrastwirkung mit dem sonst dunklen Himmelsgrunde an den Rändern Saturns eliminirt wird.

Der Schatten des Ringes auf der Kugel ist stets erheblich heller als der Schatten der Kugel auf dem Ringe. Diese Thatsache ist so in die Augen fallend, dass sie von allen Beobachtern bestätigt wird und es nicht erforderlich ist, besondere Autoritäten hierfür anzuführen.

Das Ringsystem des Saturn ist fortwährenden Veränderungen unterworfen. Der innere Rand des Ringes nähert sich continuirlich

---

1) Memoirs of the Royal Astronomical Society, Vol. XXXII. p. 86. 87.

2) Es steht diese Beobachtung im Widerspruch mit einer erst vor Kurzem von CHACORNAC angegebenen Erscheinung. Derselbe bemerkt hierüber Folgendes (Comptes rendus T. 59. No. 22. p. 890):

»L'observation du passage du quatrième satellite de Saturne, que j'eus l'avantage de suivre avec le plus grand télescope de l'Observatoire impérial de Paris, le 1er mai 1862, m'ayant offert la preuve que les bords sont plus lumineux que la région centrale du disque de cette planète etc.«

Man sucht hierbei vergeblich nach näheren Angaben, ob der Satellit in der Mitte Saturns hell erschienen sei oder nicht. Ich glaube daher, dass es wünschenswerth ist, das von CHACARNAC angegebene Phänomen noch öfter zu beobachten, ehe man sich dazu versteht, im Widerspruche mit dem blossen Anblick des Saturn, den von jenem Beobachter gezogenen Schluss zu adoptiren.

der Planetenkugel, womit gleichzeitig eine Zunahme in der Breite des ganzen Ringsystems verbunden ist[1]).

Die optische Albedo Saturns ($\mu = 0.4981$) ist, wie die des Jupiter, eine verhältnissmässig hohe. Ein irdischer Körper von diesem Reflexionsvermögen würde immer noch zu den entschieden hellen Stoffen gerechnet werden.

Die chemische Albedo Saturns scheint nach den Beobachtungen WARREN DE LA RUE's, ähnlich der des Jupiter, eine sehr hohe zu sein[2]). Indessen müssen diese Beobachtungen noch vervielfältigt werden.

Ein Einfluss der Phase hat sich nach den bis jetzt angestellten photometrischen Beobachtungen ebenso wenig wie beim Jupiter erkennen lassen.

Die Farbe des Saturn ist röthlich und zwar, zufolge meiner colorimetrischen Bestimmungen, mindestens ebenso roth wie gegenwärtig Arctur. Dass diese Farbengleichheit nicht dem blossen Auge bemerklich ist, sondern dieses meistens wohl Arctur für röther hält, liegt, wie oben (p. 250) ausführlich gezeigt, an der Intensitätsdifferenz beider Gestirne.

Die Spectralanalyse zeigt im Roth und Orange des Saturns-Spectrums dieselben eigenthümlichen Linien wie das Jupiters-Spectrum[3]); Uranus und Neptun lassen wegen ihrer grossen Entfer-

1) OTTO STRUVE, Sur les dimensions des anneaux de Saturn. Mémoires de POULKOVA Vol. I. p. 347—383. (1853.) Am Schlusse dieser umfangreichen und interessanten Arbeit fasst STRUVE die Resultate derselben auf p. 383 in folgenden Worten zusammen:

»Nos connaissances actuelles des changements qui se passent dans le système des anneaux de Saturne, se résument donc dans les trois points suivants:

1. Le bord intérieur des anneaux s'approche continuellement du globe de la planète;
2. Le rapprochement du bord intérieur est combiné avec un accroissement de la largeur totale des anneaux;
3. Dans l'intervalle entre les observations de J. D. CASSINI et W. HERSCHEL; la largeur de l'anneau B a augmenté en plus forte raison que celle de l'anneau A.«

Mit A ist hierbei der äussere und mit B der hierauf folgende, breitere Ring bezeichnet.

2) Monthly Notices R. A. S. Vol. XVIII. p. 55.

3) HUGGINS und MILLER, Phil. Trans. 1864. p. 423. Die oben angeführte Beobachtung wurde von den genannten Gelehrten am 31. August vor. Jahres gemacht.

nungen weder Flecke noch sonstige Helligkeitsunterschiede auf ihrer Oberfläche entdecken. Die Farbe ihres Lichtes ist weiss.

Die optische Albedo des Uranus ist eine sehr hohe ($\mu = 0.6406$).

Die optische Albedo des Neptun ist geringer ($\mu = 0.4648$).

Ueber die chemische Albedo dieser beiden Planeten liegen bis jetzt noch keine Beobachtungen vor.

Ein Einfluss der Phase auf die Helligkeit scheint sich nach den bisher von mir angestellten photometrischen Beobachtungen beim Uranus zu ergeben. (Vgl. das oben p. 151 hierüber Gesagte.)

Beim Neptun kann hierüber noch nicht entschieden werden.

Schliesslich mag hier noch eine Uebersicht derjenigen Grössen folgen, welche ebenfalls zur Beurtheilung der physischen Beschaffenheit der vorstehend angeführten Planeten charakteristisch sind, namentlich mit Rücksicht auf die früher entwickelte Hypothese von ihrer Entstehung. Es sind hierbei für die Massen und die Sonnenparallaxe (8.″9159) die neuesten Werthe von HANSEN zu Grunde gelegt. Bei allen Angaben sind die entsprechenden Grössen der Erde als Einheit angenommen.

	Masse.	Volumen.	Dichtigkeit.	Mittlere Erleuchtung und Erwärmung durch die Sonne.
Sonne	319455.000	1245500.000	0.255	
Venus	0.783	0.881	0.888	1.9300
Erde	1.000	1.000	1.000	1.0000
Mars	0.100	0.122	0.820	0.4400
Jupiter	304.590	1214.000	0.251	0.0372
Saturn[1])	90.000	733.000	0.123	0.0111
Uranus	13.300	85.720	0.155	0.0026
Neptun	22.200	67.100	0.331	0.0011

1) Die Angaben beziehen sich nur auf die Saturnskugel allein.

89.

Wenn nun im Folgenden der Versuch gemacht wird, die Mannigfaltigkeit der soeben angeführten Erscheinungen lediglich auf Grund der früher dargelegten Entwickelungsgeschichte unseres Planetensystems zu erklären, so kann dies nur in sehr allgemeiner und skizzenhafter Weise geschehen, indem es bis jetzt noch an hinreichendem Beobachtungsmaterial fehlt, um auch die feineren Details der mitgetheilten Eigenthümlichkeiten in der äusseren Erscheinung der Planeten genügend abzuleiten. So sehr ich daher auch von der Richtigkeit der allgemeinen Principien des folgenden Erklärungsversuches überzeugt bin, so sehr muss ich mich doch gegen die Ansicht verwahren, als betrachtete ich die gegebenen Erklärungen durch die bis jetzt vorliegenden Beobachtungen schon als bewiesen. Es kommt mir zunächst vorzugsweise nur darauf an, dem Leser die Ueberzeugung zu verschaffen, dass gegründete Aussicht vorhanden ist, mit Hülfe der früher entwickelten Hypothese von dem ursprünglich glühend-gasförmigen Zustande unseres Planetensystems und der in Folge hiervon gleichförmigen Vertheilung der Materie, alle die angeführten Eigenschaften der einzelnen Planeten als nothwendige Folgen jenes Zustandes und lediglich als verschiedene Stadien ein und desselben Entwickelungsprozesses darzustellen.

Die Zeit, welche ein Planet gebraucht, um durch fortdauernde Wärmeausstrahlung aus dem glühend-gasförmigen in den glühend-flüssigen Zustand überzugehen, und sich hierauf mit einer kalten und nicht mehr leuchtenden Inkrustirung zu bedecken, ist unter übrigens gleichen Umständen eine Function seiner Masse. Nach den Versuchen von Buffon [1]), Bischof [2]) und Anderen scheint diese Zeit mit der Masse ausserordentlich schnell zu wachsen.

Wenn demnach ein Planet von der Grösse unserer Erde gegenwärtig eine, im Verhältniss zu seinen Dimensionen, sehr dünne In-

---

1) Buffon, Les époques de la nature. Paris 1780.

2) Bischof, The physical, chemical and geological researches on the internal heat of the globe. London 1841.

krustirung besitzt, so ist es sehr unwahrscheinlich, dass Planeten, wie Jupiter und Saturn, welche die Erde an Masse und Volumen viele Hunderte von Malen übertreffen, sich in demselben Stadium der Abkühlung wie unsere Erde befinden.

Bei Planeten von nahezu gleicher Grösse, wie bei der Erde und Venus, wird die Schnelligkeit der Abkühlung noch durch einen andern Umstand bedingt sein, nämlich durch die Quantität von Wärme, welche ihnen nach Massgabe ihres Abstandes von der Sonne zugeführt wird.

Da nun, nach der oben gegebenen Zusammenstellung, die Wärmestrahlung durch die Sonne auf der Venus nahe doppelt so gross ist als auf der Erde, so muss sich Venus, unter Voraussetzung übrigens gleicher Umstände, in einer Entwickelungsperiode befinden, welche die Erde bereits durchlaufen hat.

Bei den entferntesten Planeten Uranus und Neptun, welche sehr bedeutend kleiner als Jupiter und Saturn sind, ist die Wärmestrahlung durch die Sonne verschwindend. Haben sich demnach jene Planeten durch fortdauernden Wärmeverlust mit einer so dicken Kruste bedeckt, dass die Reaction der inneren Wärme auf die Oberfläche, wie bei der Erde, verschwindend ist, so muss alles Wasser auf ihnen in Form von Schnee und Eis die Oberfläche bedecken.

Unter Voraussetzung dieser allgemeinen Beziehungen zwischen den Entwickelungsphasen der Planeten, mögen dieselben nun mit Rücksicht auf ihre oben angeführten Erscheinungen einer näheren Betrachtung unterworfen werden.

Venus. Sowohl die eigenthümliche Vertheilung des Lichtes auf den Venusphasen als auch namentlich die grosse Lichtstärke sehr kleiner Phasen würden sich, wie auch BOND bemerkt, vollkommen erklären lassen, wenn man annimmt, es befände sich auf der Oberfläche der Venus ein partiel spiegelnder Stoff.

Ich nehme an, es sei dieser Stoff Wasser und es befinde sich Venus in einer Entwicklungsperiode, analog derjenigen, in welcher fast die gesammte Erdoberfläche mit einem nicht allzutiefen Meere bedeckt war. Mit Rücksicht auf die Anwesenheit einer Atmosphäre liesse sich alsdann auch die eigenthümliche Gestalt der Phasen erklären, indem vorläufige Versuche an partiell spiegelnden

und beleuchteten Kugeln sehr wesentliche Analogien darzubieten scheinen. Der Wechsel in der Dimension der sogenannten Hörner würde durch die zu verschiedenen Zeiten verschieden durch Winde bewegten Stellen der Meeresoberfläche erklärt werden können. Man sieht sehr häufig auf einer ruhigen, von der Sonne bestrahlten Wasserfläche plötzlich diejenigen Stellen weithin von glänzendem Lichte erleuchtet, welche durch Wind in Wellenbewegung versetzt werden.

Da demnach das Licht der Venus, abgesehen von dem durch ihre Atmosphäre zerstreuten Lichte, wesentlich nur aus Sonnenlicht besteht, welches an der Oberfläche ihres, durch Wellen bewegten, Meeres reflectirt wird, so kann die Spectralanalyse keine wesentlich neuen Linien im Venus-Spectrum zeigen.

Die genauere Untersuchung des Polarisationszustandes des Venus-Lichtes erscheint mit Rücksicht auf die hier ausgesprochene Ansicht von höchster Wichtigkeit.

Mars hat durch die periodisch wechselnde, und von der Sonnenstrahlung abhängige, Ausdehnung seiner weissen Polarflecke schon längst zu der Ansicht geleitet, dass wir es bei ihm mit einem der Erde wesentlich ähnlichen Körper zu thun haben[1]). Auch in Betreff der röthlichen Farbe, glaube ich, würde ihm die Erde, aus grossen Fernen betrachtet, vollkommen gleichen. Denn da unsere Atmosphäre vorzugsweise blaues Licht reflectirt, so wird sie auch dem entsprechend nur gelbes oder röthliches Licht hindurchlassen. Die Sonnenstrahlen, welche die Oberfläche der Erde treffen und von hier wieder in den Himmelsraum reflectirt werden, haben hierbei die doppelte Dicke unserer Athmosphäre durchsetzt und sind auf diesem Wege vorzugsweise ihrer blauen Strahlen beraubt worden.

Gemäss der geringeren Dimensionen des Mars und seiner grösseren Entfernung von der Sonne, muss er sich früher als unsere

---

1) BEER und MÄDLER, Beiträge zur phys. Kenntniss der himml. Körper. »Die bemerkten Verschiedenheiten harmoniren demnach auf's Vollkommenste mit der Annahme: dass wir in diesem weissen Flecke einen unserem Schnee analogen Winterniederschlag auf der Marskugel erblicken, und es ist in der That fast unmöglich, eine sich so überraschend schön bewährende Deutung von der Hand zu weisen. Unsere Erde muss, aus Planetenfernen betrachtet, ganz ähnliche Erscheinungen darbieten.« (p. 124 a. a. O.)

Erde abgekühlt haben und befindet sich demgemäss schon in einem weiter vorgeschrittenen Entwickelungsstadium als diese.

90.

Jupiter und Saturn zeigen nach ihren oben angeführten Eigenschaften so beträchtliche Analogien, dass man genöthigt ist, ihnen auch eine analoge, physische Beschaffenheit zuzuschreiben.

Ich nehme an, dass beide Planeten sich noch in einem Zustande beträchtlicher Erhitzung befinden und dass ihre Oberflächen in Folge dieser hohen Temperatur wahrscheinlich noch Licht und Wärme ausstrahlen.

Dass dieses eigene Licht im Vergleich zu der Erleuchtung durch die Sonne ein nur schwaches sein kann, geht sowohl aus der Verfinsterung der Jupiterstrabanten als auch aus dem dunklen Schatten der Saturnskugel auf dem Ringe hervor.

Wollte man jedoch aus den angeführten Erscheinungen auf die Abwesenheit jedweden Eigenlichtes schliessen, so müsste dieser Schluss als ein sehr oberflächlicher verworfen werden, indem er sowohl eine Unkenntniss der Gesetze der Contrastwirkung als auch der, zur Wahrnehmung so kleiner Grössen, erforderlichen Beleuchtung documentirte.

Für das Vorhandensein einer selbstständigen Lichtentwickelung scheint dagegen beim Jupiter die merkwürdige Thatsache zu sprechen, dass sich der dritte Mond auf der Jupitersscheibe als ein ebenso dunkler Fleck wie sein Schatten projicirt, beim Saturn, dass der Schatten des Ringes auf der Saturnskugel beträchtlich weniger dunkel als der Schatten der Kugel auf dem Ringe ist. (Vgl. p. 297.)

Jedenfalls müssen zur genaueren Feststellung dieses Eigenlichtes der beiden grössten Planeten unseres Sonnensystems noch genauere Untersuchungen angestellt werden, ehe endgültig über diese Frage entschieden werden kann.

Dass aber die Temperatur an der Oberfläche von Jupiter und Saturn noch eine ausserordentlich hohe sein müsse, dafür scheint mir fast unwiderleglich die Thatsache zu sprechen, dass die vielfach beobachteten Veränderungen in der Anordnung und Gestalt

ihrer Aequatorialstreifen auf gewaltige Bewegungen an ihren Oberflächen schliessen lassen.

Wir wissen nämlich, dass alle Veränderungen an der Oberfläche und in der Atmosphäre unserer Erde lediglich, in mechanische Bewegung umgesetzte, Sonnenwärme sind. Auf der Oberfläche Jupiters beträgt diese Wärme nur $\frac{1}{25}$, auf dem Saturn sogar nur $\frac{1}{100}$ von der auf unserer Erde. Folglich muss die Quelle der auf den Oberflächen Jupiters und Saturns beobachteten gewaltigen Bewegungen in einer sehr hohen eigenen Temperatur dieser Planeten gesucht werden.

Die grauen Aequatorialstreifen können nicht Wolken aus Wasserdampf sein, weil diese sich bei einem von aussen betrachteten Planeten als weisse Stellen von dem dunkleren Grunde der allgemeinen Oberfläche abheben müssten. Eine Wolke aus Wasserdampf erscheint nur grau im durchgehenden, nicht aber im reflectirten Lichte.

Nimmt man dagegen an, es seien jene Streifen die ersten Anfänge der sich bildenden Incrustirung, welche wir durch dichte und manigfach wechselnde Schleier von Nebeln aus sich condensirenden Stoffen erblicken, so würde sich durch die Annahme einer solchen Beschaffenheit nicht nur das äussere Ansehen jener nach dem Rande der Planetenscheibe abgeschwächten Streifen erklären lassen, sondern auch, der verschwindende Einfluss der Phase bei den photometrischen Beobachtungen und die Abnahme des Lichtes nach dem Rande zu.

Nach dem im ersten Theile p. 26 ausgesprochenen Satze, würde nämlich eine solche, mit dichten Nebeln bedeckte Planetenkugel, bezüglich ihrer Beleuchtungsverhältnisse, den LAMBERT'schen Principien entsprechen müssen und daher sowohl nach dem Rande zu dunkler werden als auch in der Nähe der Opposition nur einen sehr geringen Einfluss der Phase zeigen, ganz wie diess bei Jupiter und Saturn der Fall ist.

Bei einer solchen Beschaffenheit ist ferner die Anwesenheit eigenthümlicher Linien in den Spectren dieser Planeten nicht auffällig und es darf von der weiteren Ausbildung und Vervollkommnung der Spectralanalyse wohl mit Sicherheit erwartet werden, dass sie uns auch nähere Auskunft über die sonstige physikalische und chemische Natur jener hier angenommenen, dichten Nebelmassen geben wird.

Ueber die erwähnten, periodischen Helligkeitsveränderungen der Jupitersmonde und die Natur des Saturnsringes nebst seinen Veränderungen seien mir hier kurz noch folgende Bemerkungen gestattet.

In der oben citirten Abhandlung, über die relative Helligkeit der Jupiterstrabanten, fand Herschel, dass die drei nächsten Monde stets dann am hellsten sind, wenn sie sich in dem uns nächsten Theile ihrer Bahn, also in der unteren Conjunction mit Jupiter, befinden. Aehnliches hat Herschel auch bei einigen Monden des Saturn gefunden. Er erklärt diese Erscheinungen dadurch, dass er den Monden ein verschiedenes Reflexionsvermögen an verschiedenen Seiten ihrer Oberfläche beilegt und annimmt, dass sie, analog dem Erdmonde, stets dieselbe Seite ihrem Centralkörper zuwenden.

Es würde aber auch den angeführten Erscheinungen genügt werden, wenn man annimmt, es mache sich ein Einfluss der Phase des von der beleuchteten Hälfte des Jupiter reflectirten Lichtes auf den Monden bemerkbar, namentlich wenn man den letzteren eine der Venus analoge Oberflächenbeschaffenheit beilegt.

Eine zweite, und vielleicht noch wahrscheinlichere, Annahme wäre die, dass Jupiter, in Folge seiner hohen Temperatur, noch mit einer weithin ausgedehnten Atmosphäre umgeben sei, so dass das Licht eines Mondes in der oberen Conjunction durch Absorption in jener Atmosphäre geschwächt würde. Ich bemerke hierbei, dass Schröter und Herschel beim Saturn die Beobachtung gemacht haben wollen, es würde auch das Licht von Sternen, denen sich Saturn nähert, abgeschwächt.

Beim System der Jupitersmonde könnten die beiden von mir gemachten Annahmen gleichzeitig bestehen ohne dass man, wegen der Irradiation des intensiven Jupiterslichtes, im Stande wäre, anders als auf dem Wege photometrischer Untersuchungen über diese wichtigen Fragen zu entscheiden.

Ich lasse es hier lediglich bei diesen Andeutungen bewenden, um zu zeigen, welche interessanten Probleme die Photometrie auf diesem Gebiete noch zu lösen hat.

Was die physische Beschaffenheit des Saturnsringes betrifft, so ist man sowohl aus theoretischen als auch empirischen Gründen im Allgemeinen zu der Ansicht gelangt, dass jener Ring aus einer Flüssigkeit bestehen müsse. Nimmt man an, es sei diese Flüssigkeit

Wasser, so wird dasselbe, mit Rücksicht auf die Attractionsverhältnisse, nur in einer solchen Entfernung vom Saturn im flüssigen Aggregatzustande bestehen können, in welcher die vorausgesetzte Wärmestrahlung der Saturnskugel die Existenz einer zur Condensation erforderlichen Temperatur gestattet. Diese Grenze wird aber, bei der fortdauernden Abkühlung Saturns, seiner Oberfläche stets näher rücken müssen, so dass hierdurch die oben erwähnte Entdeckung O. STRUVE's, falls sie sich bestätigen sollte, in einfacher Weise erklärt würde[1].

Der wahrscheinlich erst in neuerer Zeit entstandene, sogenannte dunkle Riug, würde uns ein Zeichen sein, dass gegenwärtig an der Stelle dieses Ringes die Temperaturerniedrigung bereits unter den Condensationspunct gesunken sei und dass sich demgemäss, wie bei atmosphärischen Abkühlungsprozessen, zunächst Nebel bilden mussten, die den Saturn in Form eines dunkleren Ringes umgeben.

Es knüpft sich an diese Betrachtung die Aussicht, dass es vielleicht kommenden Generationen gestattet ist, das merkwürdige Schauspiel zu beobachten, welches sich bei Berührung des innern Ringrandes mit der Saturnskugel ereignen wird.

Da Saturn mit Rücksicht auf seinen grösseren Abstand von der Sonne und seiner geringeren Masse bereits in ein mehr vorgerücktes Stadium der Abkühlung getreten sein muss, als dies beim Jupiter der Fall ist, so dürfte sich hierdurch vielleicht der angeführte Unterschied in der Farbe und Albedo jener beiden Planeten erklären.

Für Uranus und Neptun bieten uns bis jetzt zur Beurtheilung ihrer physischen Oberflächenbeschaffenheit nur ihre verhältnissmässig hohen, lichtreflectirenden Kräfte[2]), und beim Uranus noch der merkwürdige Einfluss der Phase einige Anhaltspuncte.

Sollten sich diese Eigenschaften der beiden entferntesten Planeten bei weiter fortgesetzten Beobachtungen bestätigen, und

---

1) Gegen die von SRUVE gezogenen Schlüsse haben MAIN (Mem of the R. A. S. Vol. XXV und KAISER in Leyden (Verslagen en Mededelingen d. K. Acad. d. W. III, 1856) Einspruch erhoben.

2) Es werden sich bei Benutzung einer grösseren Zahl von Beobachtungen, die Werthe für diese Kräfte wahrscheinlich noch vergrössern, indem beim Uranus zur Berechnung der Albedo nur der Mittelwerth aus den Helligkeitsbestimmungen und nicht der, der Opposition zunächst liegende, höchste Werth genommen wurde (vgl. p. 150). Beim Neptun dürfte sich, neueren Beobachtungen zufolge, wahrscheinlich noch der Durchmesser etwas verkleinern.

sich auch beim Neptun ein Einfluss der Phase auf seine Lichtstärke bemerklich machen, so würden diese Erscheinungen durch die oben (p. 301) über die Entwickelungsphase dieser beiden Planeten gemachte Annahme ihre befriedigende Erklärung finden.

Abgesehen von der hohen Albedo, würde ein Planet von der Beschaffenheit der Mars, an die Stelle des Neptun versetzt, noch einen photometrisch deutlich nachweisbaren Einfluss der Phase erkennen lassen, wie diess oben (p. 152) ausführlich gezeigt ist.

Von welcher Wichtigkeit für die Bestimmung der Rotationszeit jener entferntesten Planeten eine sorgfältig und andauernd fortgesetzte photometrische Beobachtung ihrer Lichtstärke ist, braucht, wie ich glaube, nicht besonders hervorgehoben zu werden.

91.

Die vorstehend entwickelten Ansichten über den Temperaturzustand der einzelnen Körper unseres Planetensystems sind nicht neu. Wie sehr dieselben jedoch in Vergessenheit gekommen und gänzlich unbeachtet geblieben sind, beweist am schlagendsten die Thatsache, dass die Hypothese von der dunklen und kalten Beschaffenheit des Sonnenkörpers mit seiner Licht und Wärme spendenden Photosphäre eine so allgemeine Verbreitung und einen so blinden Glauben hat finden können.

Der Erste, welcher mit Klarheit die Consequenzen eines ehemals glühend-flüssigen Zustandes der Planeten entwickelt hat, ist der französische Naturforscher BUFFON gewesen. Wir können hier ganz von der besonderen Art und Weise seiner bereits von LAPLACE[1]) kritisirten Kosmogonie absehen; es genügt uns zu wissen, dass auch nach dieser Hypothese die Planeten als von der Sonne losgerissene Theile betrachtet werden, welche als solche ehemals die feurig-flüssige Beschaffenheit der letzteren besessen haben müssen.

Unter dieser Voraussetzung sagt BUFFON[2]):

»Représentons nous l'état et l'aspect de notre Univers dans son premier âge: toutes les planètes nouvellement consolidées à la surface étaient encore liquides à l'intérieur, et lançaient au-

1) Vgl. oben p. 217.
2) BUFFON, Histoire naturelle, 1786 Tome XII p. 66.

dehors une lumière trés vive: c'étaient autant de petits soleils détachés du grand, qui ne lui cédaient que par le volume, et dont la lumière et la chaleur se répandaient de même: ce temps d'incandescence a duré tant que la planète n'a pas été consolidée jusqu'au centre.«

Einige Seiten weiter (p. 71 a. a. O.) folgert BUFFON aus der gemachten Annahme für die grösseren Planeten auch gegenwärtig noch eine höhere Temperatur als für die kleineren. Seine Worte sind folgende:

»A tous ces faits que je viens d'exposer, on doit en ajouter un qui m'a été communiqué par M. BAILLY, savant Physicien-astronome de l'Académie des Sciences. La surface de Jupiter est, comme l'on sait, sujette à des changemens sensibles, qui semblent indiquer que cette grosse planète est encore dans un état d'inconstance et de bouillonnement. Prenant donc, dans mon système de l'incandescence générale et refroidissement des planètes, les deux extrêmes, c'est-à-dire, Jupiter, comme le plus gros, et la Lune, comme le plus petit de tous les corps planétaires, il se trouve que le premier, qui n'a pas eu encore le temps de se refroidir et de prendre une consistance entiere, nous présente à sa surface les effets du mouvement intérieur dont il est agité par le feu; tandis que la Lune qui, par sa petitesse, a dû se refroidir en peu de siècles, ne nous offre qu'une calme parfait, c'est-à-dire, une surface qui est toujours la même, et sur laquelle l'on n'apperçoit ni mouvement ni changement. Ces deux faits connus des Astronomes, se joignent aux autres analogies que j'ai présentées sur ce cujet, et ajoutent un petit degré de plus à la probabilité de mon hypothèse.«

Genau in derselben Weise hat es in neuerer Zeit (1853) der englische Astronom NASMYTH, jedenfalls ohne BUFFON's Hypothese zu kennen, unternommen, für die Planeten Jupiter und Saturn einen noch gegenwärtig sehr hohen Temperaturzustand wahrscheinlich zu machen. Die Abhandlung ist betitelt: »Some Remarks on the probable present Condition of the Planets Jupiter and Saturn, in reference to Temperature etc. by Mr. NASMYTH« und findet sich in den »*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.« Vol. XIII. p. 40.

Der Verfasser gedenkt hier gleich im Eingange einer früheren Abhandlung »in reference to the structure and condition of the lunar surface.« Diese Ahandlung hätte mich, bezüglich meiner oben über denselben Gegenstand ausgesprochenen Ansichten, sehr interessirt, indessen war es mir nicht möglich, dieselbe aufzufinden. Ich bemerke dies hier ausdrücklich, falls die dort entwickelten Ansichten des Mr. NASMYTH mit den meinigen übereinstimmen sollten.

Um endlich zu zeigen, dass auch in Deutschland die besprochenen Ideen bereits ihren Vertreter gehabt haben, mögen hier die folgenden Worte ARTHUR SCHOPENHAUER's [1]) den Schluss unserer Betrachtungen bilden:

»Wenn, wie es dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse gemäss erscheint und auch schon LEIBNITZ[2]) und BUFFON behauptet haben, die Erde einst im Zustande der Glühehitze und Schmelzung war, ja, es noch ist, indem bloss ihre Oberfläche sich abgekühlt und verhärtet hat; so war sie vor diesem, wie alles Glühende, auch leuchtend, und da auch die grossen Planeten dies, und zwar noch länger waren: so wird von den Astronomen ferner und älterer Welten damals die Sonne als ein Doppelstern, oder ein dreifacher, ja vierfacher aufgeführt worden sein. Da nun die Erkältung ihrer Oberfläche so langsam vor sich geht, dass, in historischen Zeiten, nicht die geringste Zunahme derselben nachweisbar ist, ja, solche, nach FOURIER's Berechnungen [3]), gar nicht mehr in irgend merklichem Grade Statt findet, weil gerade so viel Wärme, als die Erde jährlich ausstrahlt, sie von der Sonne wieder erhält; so muss, an dem 1384472 Mal grösseren Volumen der Sonne, deren integrirender Theil die Erde einst gewesen, die Erkältung in dem dieser Differenz entsprechenden Verhältnisse langsamer, wenngleich ohne Compensation von aussen, vor sich gehn; wonach denn das Leuchten und Wärmen der Sonne sich daraus erklärt, dass sie noch in dem Zustande ist, in welchem einst auch die Erde gewe-

1) A. SCHOPENHAUER, Parerga und Paralipomena 2te Aufl. II. p. 137.

2) LEIBNITZ, Protogaea sive de prima facie Telluris etc. Goettingen 1749. §. 2.

3) FOURIER, Mem. sur les temperatures du globe terrestre et des espaces planétaires. Mém. Acad. Paris. VII. 1820.

Id., Mem. sur le refroidissement séculaire de la terre. Ibid. 1620.

sen, dessen Abnahme aber bei ihr viel zu langsam geht, als dass der Einfluss derselben, selbst auch nur in Jahrtausenden, zu spüren wäre. Dass dabei eigentlich ihre Atmosphäre das Leuchtende sein soll, liesse sich wohl aus der Sublimation der glühendsten Theile erklären.

Dasselbe gälte dann von den Fixsternen, unter denen die Doppelsterne solche wären, deren Planeten noch im Zustande des Selbst-Leuchtens sind. Dieser Annahme zufolge würde aber allmälig doch alle Gluth verlöschen und nach Billionen Jahre die ganze Welt in Kälte, Starrheit und Nacht versinken; — wenn nicht inzwischen etwa neue Fixsterne aus leuchtendem Nebel zusammen gerinnen.«

92.

Werfen wir nun noch zum Schlusse einen kurzen Rückblick auf den Weg und die Methode, welche wir bei unsern Untersuchungen verfolgt haben, und sehen zu, welche Aussichten dieselben bei einer consequenten Verfolgung und weiteren Ausbildung für die nächste Entwickelungsphase der Astronomie zu eröffnen versprechen.

Die Astronomie hat sich zur Erlangung empirischer Data bisher fast ausschliesslich nur einer Eigenschaft des Lichtes, nämlich der geradlinigen Fortpflanzung desselben bedient. Durch diese Qualität des Lichtes einerseits und durch die besondere Beschaffenheit des Auges und der optischen Instrumente andrerseits, sind wir in den Stand gesetzt, die Richtungen, in welchen uns die Himmelskörper erscheinen, näher zu bestimmen.

Die Aufgabe der practischen Astronomie bestand daher im Wesentlichen darin, jene Richtungen als Functionen der Zeit mit möglichst grosser Genauigkeit festzustellen.

Die hierdurch bestimmten Ortsveränderungen der Gestirne war man genöthigt, zunächst rein phoronomisch als Wirkungen einer doppelten Ursache zu betrachten.

Die eine liegt in der Bewegung unseres Standpunctes und erzeugt die scheinbaren Ortsveränderungen, die andere in der Bewegung der beobachteten Gestirne unter sich und erzeugt die wahren Ortsveränderungen derselben.

An der Vollständigkeit, mit welcher sich die Trennung dieser beiden Ursachen in den verschiedenen Zeitaltern astronomischer Cultur vollzogen hat, lässt sich die Entwickelungsphase der Astronomie bemessen, und noch heut muss es als eins der wesentlichsten Ziele der gesammten Astronomie betrachtet werden, jene Trennung der virtuellen und reellen Bewegungserscheinungen am Himmel bis in die feinsten Details herab zu vervollständigen.

Indessen ist hiermit nur ein Theil des Problems der himmlischen Bewegungen gelöst. Denn dasselbe Causalgesetz, welches uns antrieb, die erwähnten Ursachen jener Bewegungen phoronomisch von einander zu trennen, nöthigte uns ferner auch, nach der physischen Ursache derselben zu forschen.

Diese Ursache musste nothwendig in den bewegten Körpern selbst gesucht werden, und da es uns nur gestattet ist, die Eigenschaften irdischer Körper einer näheren Untersuchung zu unterwerfen, so musste der Versuch gewagt werden, eine Eigenschaft, welche ohne Ausnahme allen irdischen Körpern zukommt, durch Analogie auch auf die Himmelskörper zu übertragen.

Diese allgemeine Eigenschaft besteht in dem eigenthümlichen Zuge oder Drange, mit welchem jeder Körper nach Massgabe seiner Masse sich dem Mittelpuncte der Erde zu nähern bestrebt ist.

Die Gesetze dieses Zuges liessen sich empirisch und theoretisch auf der Erde feststellen, und das anfangs paradox und verwegen erscheinende Unternehmen, die nur an irdischen Körpern beobachteten Gesetze jener geheimnissvollen Eigenschaft auch bei aller übrigen Körpern des sichtbaren Universums vorauszusetzen, war von so glänzendem Erfolge gekrönt, dass heut, kaum zwei Jahrhunderte später, die Lehre von der allgemeinen Gravitation zu den Trivialitäten gerechnet wird.

Gäbe es nun keine anderen Unterschiede und Veränderungen im Lichte der Gestirne als die Richtung, in welcher sie uns erscheinen, d. h. wäre das von ihnen ausgesandte Licht stets von gleicher Intensität, gleicher Farbe und gleicher physikalischer Zusammensetzung, so wäre die Methode der Positionsbestimmungen der einzig mögliche Weg, auf dem die practische Astronomie in Zukunft fortzuschreiten hätte.

Indessen so verhält es sich keineswegs. Die Gestirne zeigen uns bezüglich der genannten Eigenschaften mannigfache Unterschiede, welche ebenso, wie diejenigen des Ortes, Functionen der Zeit sind.

Fasst man den Begriff der Farbe in dem früher (p. 212) von mir definirten allgemeineren Sinne, so hat man für jeden Himmelskörper drei Grössen als Functionen der Zeit zu bestimmen: die Intensität der chemischen, optischen und thermischen Strahlen. Wenn auch die Möglichkeit einer astronomischen Verwerthung der letzten Grösse bis jetzt nur auf Sonne und Mond beschränkt bleiben muss, so berechtigen doch die neuerdings im Gebiete der Thermoëlektricität gemachten Entdeckungen[1]) zu der Hoffnung, vielleicht auch diese Schranke zu Gunsten einer allgemeineren Anwendung jener Kraft durchbrechen zu können.

Wie wir nun, nach dem Satze vom zureichenden Grunde, ein Recht hatten, nach den Ursachen der Aenderung des Ortes der Gestirne oder der Richtung des von ihnen ausgesandten Lichtes zu forschen, ganz ebenso haben wir auch ein Recht, nach den Ursachen der Intensitätsänderungen jenes Lichtes zu fragen.

Analog den Ortsveränderungen ist auch hier ein Theil dieser Intensitätsunterschiede und ihrer Veränderungen bedingt durch die räumlichen Beziehungen unseres Standpunctes zu den lichtausstrahlenden Körpern, ein anderer Theil durch die Veränderungen auf jenen Körpern selber.

Um zu den physischen Ursachen auch dieser intensiven Veränderungen zu gelangen, müssen wir denselben Weg einschlagen, auf dem wir zur Ueberzeugung von der Allgemeinheit der Gravitation gelangt sind, d. h. wir müssen diejenigen Eigenschaften der Körper, welche auf dem eng begrenzten Schauplatze der tellurischen Veränderungen ähnliche Erscheinungen hervorrufen, durch Analogie auch auf die entferntesten der uns sichtbaren Himmelskörper übertragen.

Ich habe mich im letzten Theile dieser Untersuchungen bemüht, den Nachweis zu liefern, dass dieser Weg mit Erfolg betreten werden kann und auch logisch der allein mögliche und richtige ist.

---

1) S. Marcus, Eine neue und sehr kräftige thermo-elektrische Säule. Ber. d. Wiener Acad. 1865 No. 8, auch in Pogg. Ann. Bd. CXXIV. p. 629.

Ein mächtiges Hülfsmittel, auch im Bereiche der intensiven Veränderungen am Himmel dieselbe Trennung der virtuellen von den reellen Grössen zu bewerkstelligen, welche die bisherige Astronomie auf dem Gebiete der extensiven Grössen vollzogen hat, wird ohne Zweifel die Spectralanalyse darbieten, indem sie uns auf ganz directem Wege jene Qualitäten der Gestirne kennen lehrt, aus welchen wir den objectiven oder reellen Theil ihrer Unterschiede und Veränderungen zu erklären und abzuleiten haben.

Es fragt sich nun, ob es nicht auch irgend eine Eigenschaft des Lichtes gebe, welche eine Function des Bewegungszustandes des lichtausstrahlenden Körpers selber sei, um auch diesen Zustand, nicht wie bisher indirect aus Positionsveränderungen, sondern direct und lediglich aus der Natur und Beschaffenheit des ausgesandten Lichtes zu bestimmen.

Nach einer in der Sitzung der königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen vom 4. März dieses Jahres gemachten Mittheilung von KLINKERFUES[1]) zu urtheilen, scheint auch dieses Prolem gegenwärtig seiner Lösung entgegengeführt zu werden.

Der Verfasser gedenkt zunächst der hier einschlagenden, aber von negativen Resultaten begleitet gewesenen Versuche ARAGO's und fährt alsdann fort und sagt:

»Nachdem ich aus theoretischen Gründen die Ueberzeugung, dass der in Rede stehende Einfluss vorhanden sei, beinahe erlangt hatte, stellte ich mit Hülfe eines neuen Apparates, welchen Herr Ministerialrath Dr. STEINHEIL auf meinen Wunsch in seinem Institute ausführen liess, eine Reihe von Beobachtungen an, deren Resultat mit meiner Theorie in vollständiger Harmonie ist. Es findet sich dadurch bestätigt, dass die Bewegung eines Sternes, zerlegt nach der Richtung des Visions-Radius, die Brechung des Strahles beeinflusst. Man kann diese Wirkung leicht so merklich machen, dass ein sicherer Schluss auf jene Bewegung gemacht werden kann. Indem ich, eine bequeme Einheit zu erhalten, die Geschwindigkeit des Lichts im Weltenraume gleich

---

1) W. KLINKERFUES, Ueber den Einfluss der Bewegung der Lichtquelle und eines brechenden Mediums auf die Richtung des gebrochenen Strahles. Nachrichten der königl. Gesellsch. der Wissensch. zu Göttingen 1865 No. 6. p. 157.

1000 setze, glaube ich folgende, aus meinen Beobachtungen herzuleitende, Resultate als verhältnissmässig sicher bezeichnen zu können.

»Der Stern o^2 Eridani hat eine von uns abgewendete Bewegung von 0,498 (etwa 20 Meilen) in der Secunde; der, wie man schon längst im Allgemeinen weiss, sehr stark bewegte Stern 1830 Groombridge, von uns abgekehrt, die Bewegung 0,657 (25 Meilen), η Cassiopejae nähert sich uns mit einer Geschwindigkeit von 0,406 (16 Meilen), μ Cassiopejae hat, uns zugewendet, die Bewegung 0,002.

»Um möglichst vollständig die Ueberzeugung zu gewinnen, dass die so merklichen Grössen, welche ich bei o^2 Eridani, 1830 Groombridge u. a., der Theorie gemäss, gefunden habe, nicht Beobachtungsfehler sind, habe ich den Planeten Uranus, dessen Bewegung sehr schwach ist, und den Stern α Persei, bei welchem man wenigstens keine Ursache hat, eine starke Bewegung zu vermuthen, ebenfalls beobachtet. Es fand sich die Bewegung des Uranus 0,015, die von α Persei 0,077 (3 Meilen) und von uns abgewendet.

»Die angeführten Bewegungen sind schon absolute; demnach ist die Zahl für Uranus von dem Fortrücken der Sonne im Weltraume afficirt, dessen Grösse man aus einer grösseren Reihe von Planetenbeobachtungen wird schliessen können.

»Die ausführliche Darstellung des Weges, auf welchem die obigen Resultate und weitere zu erhalten sind, so wie die im gegenwärtigen Falle so nöthig erscheinende Mittheilung der Beobachtungen *in extenso*, werde ich mich beeilen, in einer besonderen Abhandlung zu geben.«

Sollte sich die angeführte Methode zur Ermittelung des Bewegungszustandes leuchtender Körper bewähren, so würden gleichzeitig angestellte photometrische Messungen ein Mittel abgeben, das Problem der Parallaxen in einer ganz neuen und allgemeineren Weise als bisher zu lösen.

Bezeichnet nämlich x die unbekannte Entfernung eines Himmelskörpers, s den in einem bestimmten Zeitraume zurückgelegten und nach der Klinkerfues'schen Methode ermittelten Weg in der Richtung des Visionsradius, so hat man für das Intensitätsverhältniss der in beiden Lagen ausgesandten Lichtmengen:

$$\frac{i}{i'} = \left(\frac{x \pm s}{x}\right)^2$$

wobei i die Lichtmenge am Ende der benutzten Zwischenzeit ausdrückt. Je nachdem sich der Himmelskörper entfernt oder nähert, muss das positive oder negative Zeichen gewählt werden.

Aus der obigen Gleichung ergiebt sich aber

$$x = \frac{\pm s}{\sqrt{\frac{i}{i'} - 1}}$$

als Werth für den Abstand des Sternes beim Beginn der Beobachtungen[1]).

Nach dieser Formel würde z. B. der Stern o^2 Eridani mit seiner von uns abgewendeten Bewegung von 20 Meilen in der Secunde, nach Verlauf von 20 Jahren schon um nahe 1 Procent lichtschwächer geworden sein, wenn man seinen jetzigen Abstand von uns zu 10 Jahren Lichtzeit annimmt.

Eine Helligkeitsdifferenz von 1 Procent lässt sich aber mit meinem Astrophotometer durch eine hinreichende Anzahl von Differenzialbestimmungen, auf welche es hierbei ja lediglich ankommt, noch mit Leichtigkeit ermitteln, so dass, wie es scheint, die angedeutete Methode auf die Ausmessung der Dimensionen unseres Fixsternsystems angewandt werden kann.

Mit Eröffnung dieser Perspective tritt uns nun aber auch die Photometrie in ihrer ganzen und vollen Bedeutung für die Fortentwickelung der Astronomie entgegen, und es war meine Absicht, durch die hier nur aphoristisch gegebenen Andeutungen das Interesse für jene ursprünglich rein physikalische Disciplin auch bei den Astronomen immer allgemeiner und lebendiger zu machen.

Erwägt man nun ferner hierbei die unabsehbare Fülle des Materials zu neuen Beobachtungen einerseits, und die gegenwärtig in ihrer ersten Entwickelung begriffenen Methoden andrerseits, so erscheint es fast unzweifelhaft, dass sich sehr bald das Bedürfniss nach einer besonderen Disciplin fühlbar machen wird, welche sich der ausschliesslichen Behandlung der hier angedeuteten Probleme in systematischer Weise zu unterziehen hat.

Sowohl die heutige Entwickelungsphase der Astronomie als auch das täglich sich steigernde Interesse für die Anwendung rein physi-

---

1) Wegen der Kleinheit des Nenners wird allerdings diese Formel bei numerischen Berechnungen in vielen Fällen nur wenig genaue Resultate liefern können.

kalischer Methoden auf astronomische Objecte, scheinen anzudeuten, dass bereits gegenwärtig alle Elemente zur Bildung jenes neuen Theils der Astronomie vorhanden sind. Derselbe dürfte vielleicht nicht unpassend mit dem Namen »Astrophysik« belegt werden zum Unterschiede von dem bisher in Deutschland allgemein als »physische Astronomie« bezeichneten Theile. War es die Aufgabe der letzteren, unter Voraussetzung der Allgemeinheit einer Eigenschaft der Materie (der Gravitation), alle Ortsveränderungen der Gestirne zu erklären, so wird es die Aufgabe der Astrophysik sein, unter Voraussetzung der Allgemeinheit mehrerer Eigenschaften der Materie, alle übrigen Unterschiede und Veränderungen der Himmelskörper zu erklären.

Mit Rücksicht auf die Natur der hierbei anzuwendenden Methoden lässt sich die Astrophysik auch als eine Vereinigung der Physik und Chemie mit der Astronomie betrachten, und sie erscheint von diesem Gesichtspuncte aus als das nothwendige Resultat einer allgemeineren Entwickelung, welche beim stetigen Fortschritt der Wissenschaften bereits auch auf andern Gebieten ähnliche Verschmelzungen ursprünglich getrennter Disciplinen zu einer höheren und allgemeineren Einheit herbeigeführt hat.

Nachträge und Berichtigungen.

Zu pag. 9. Rücksichtlich der Intensitätsabnahme der optischen Strahlen nach dem Sonnenrande zu, sei bemerkt, dass ein Gleiches SECCHI auch für die Wärmestrahlen (Astr. Nachr. No. 806, 833) und ROSCOE für die chemischen Strahlen gefunden hat. (POGG. Ann. Bd. CXX. p. 331.)

Zu pag. 68. In der Formel (46) ist $h = r$ also $hr = r^2$ zu setzen.

Zu pag. 99. In der Copie von Originalbeobachtungen etc. ist unter O. K. = 15°, statt 58°0, für das Mittel von φ die Zahl 55°0 zu lesen.

Zu pag. 109. In Tab. VI. ist oben in der Columne für »Log. Reduction auf mittl. Entf.« an Stelle der Zahl 0.9926 die Zahl 9.9926 zu setzen.

Zu pag. 135. Dass einer von den beiden Sternen Wega und Capella veränderlich ist, scheint auch durch die blossen Ocularschätzungen verschiedener Beobachter bestätigt zu werden. So sah STRUVE (1838) und Sir JOHN HERSCHEL Capella an Licht zunehmen.

»Der letztere findet die Capella jetzt um vieles heller als Wega, da er sie vorher immer für schwächer annahm. Ebenso auch GALLE und HEIS in jetziger Vergleichung von Capella und Wega. Der letztere findet Wega um 5 bis 6 Stufen, also mehr als eine halbe Grössenclasse, schwächer.« Vergl. HUMBOLDT, Kosmos III. 254.

Ich weiss nicht, welcher Mittel sich die genannten Beobachter bedient haben, um zu entscheiden, welcher von den beiden Sternen die Ursache der variablen Helligkeitsdifferenz zwischen ihnen ist. Es kann dieselbe offenbar eben so gut durch eine Veränderlichkeit Wega's, für welche meine Beobachtungen sprechen, als auch durch eine Veränderlichkeit beider Sterne erklärt werden.

Zu pag. 161. Der dort für die Sonnenparallaxe angenommene Werth 8."86 ist derjenige, welchen FOUCAULT neuerdings auf physikalischem Wege mit Berücksichtigung der Aberrationsconstante gefunden hat (Comptes rendus LV. 501—503). Die von HANSEN aus den Mondstörungen abgeleitete Parallaxe ist 8."915. Für die hier angestellte Berechnung der Albedo des Mondes ist jene Differenz mit Rücksicht auf die erstrebte Genauigkeit, zu vernachlässigen.

Zu pag. 237. Abgesehen von andern Gründen, welche die elementare Beschaffenheit des Stickstoffs zweifelhaft machen, ist es von Interesse, dass vor wenigen Monaten Professor Dr. A. v. WALTENHOFEN in einer der Wiener Akademie vorgelegten Abhandlung: »*Einige Beobachtungen über das elektrische Licht in höchst verdünnten Gasen*« (vorgelegt in der Sitzung vom 11. Mai d. J.) ebenfalls zu dem Resultate gelangt, dass der Stickstoff wahrscheinlich kein einfacher Körper ist.

Zu pag. 248. Statt Tychonis Brahe stronomiae etc. lies: T. B. Astronomiae etc.

Zu pag. 251. Um die starke Lichtentwickelung der plötzlich erschienenen Sterne begreiflich zu finden, muss man berücksichtigen, dass die hervorquellende, zum Theil vielleicht metallische, Gluthmasse mit einer Atmosphäre in Berührung kommt, welche unter dem Einfluss einer längeren Abkühlung bereits aus Gasen bestehen kann, die in Berührung mit glühenden Metallmassen einen sehr lebhaften Verbrennungsprozess einzuleiten im Stande sind.

Zu pag. 289. Als Beweis für die ehemalige Anwesenheit flüssiger Wassermassen auf der uns zugewandten Seite der Mondoberfläche sei hier noch folgende Stelle aus Sir JOHN HERSCHEL's Outlines of Astronomy 5th ed. p. 283 angeführt:

»In Lord ROSSE's magnificent reflector, the flat bottom of the crater called Albategnius is seen to be strewed with blocks not visible in inferior telescopes, while the exterior of another (Aristillus) is all hatched over with deep gullies radiating towards its center.«

Nach einer mündlichen Mittheilung des Herrn Dr. W. REISS, Docenten der Geologie an der Universität Heidelberg, gestattet die oben erwähnte, radiale Furchung, geologisch gar keine andere als eine neptunistische Erklärung.

Zu pag. 301. In dem »*Bulletin internationale de l'Observatoire Impérial de Paris* vom ersten Juli d. J. werden Untersuchungen des Pater SECCHI in Rom über die Analogie des Saturns- und Jupiters-Spectrums mitgetheilt. Hiernach sind die vorzüglichsten Linien im Spectrum des Saturns folgende:

»Dans le rouge extrême, une raie difficile à observer. Dans le rouge, une forte raie presque noire.

Entre le rouge et le jaune, une bande assez bien tranchée rappelant la bande du Spectre telluro-atmosphérique, mais mieux terminée du côté du jaune que du côté du rouge.

Au delà du Jaune, une trace de la région δ de BREWSTER, qui est nébuleuse pour notre atmosphère.

Enfin on trouve les bandes des raies E b F de FRAUNHOFER plus au moins nettes.«

Besondere Aufmerksamkeit hat SECCHI der starken Linie im Roth gewidmet und nachgewiesen, dass diese Linie wirklich dem Saturn und nicht unserer Atmosphäre zuzuschreiben ist. Diese dunkle Linie correspondirt mit einer entsprechenden im Jupiterspectrum.

»Celle analogie entre les spectres conduit le père SECCHI, par une induction naturelle, à supposer une constitution indentique pour les atmosphères de Saturne et de Jupiter.«

Wie man sieht, sind also diese Resultate der oben von mir ausgesprochenen Ansicht über die physische Beschaffenheit jener beiden Planeten, sehr günstig.

Zu pag. 313. In der so eben erschienenen, neuesten Nummer der Astronomischen Nachrichten giebt Herr KLINKERFUES genauere Mittheilungen über

seine Methode und giebt folgende, nach derselben gefundene, Werthe für die absolute Bewegung einiger Fixsterne und des Uranus:

Name des Sternes.	Absol. Beweg. im Visionsradius in geog. Meilen während 1 Sec.
α Persei	2.0
o^2 Eridani	13.4
Uranus	0.4
η Cassiopejae	19.8
μ Cassiopejae	11.7
1830 Groombridge	17.4

Herr KLINKERFUES bemerkt, dass die früher in den Nachrichten der Göttinger Societät (No. 6) gegebenen Werthe in Folge eines Versehens beim Abschreiben fehlerhaft angegeben seien.

Vgl. Astr. Nachr. No. 1538. »Aus mehreren Briefen des Herrn Professor Dr. W. KLINKERFUES, Directors der Sternwarte in Göttingen an den Herausgeber.«

Einrichtung des Astrophotometers für sehr lichtschwache Objecte.

Die planparallele Glasplatte in der Axe des Photometers, welche zur Reflexion des seitlich eintretenden künstlichen Lichtes dient, und von den, durch das Objectiv einfallenden, Strahlen durchsetzt werden muss, trägt jedenfalls wesentlich zur Schwächung dieser Strahlen bei. Man kann nun diese Glasplatte einfach dadurch ganz beseitigen, dass man der kleinen Convexlinse, welche im Brennpunct des Oculars ein reelles Bild des künstlichen Sternes erzeugt, eine solche seitliche Stellung giebt, dass, nach vorhergegangener Reflexion des Lichtes, die Linse selbst gar nicht in den Strahlenkegel des Objectivs zu stehen kommt und dabei doch einen Theil ihres bedeutend stärker divergirenden Strahlenkegels, mit dem des Objectivs vereinigt. Hierdurch erhält man ein im Gesichtsfelde frei schwebendes Bild des künstlichen Sternes, welches nun gleichzeitig mit den, durch das Objectiv gebildeten, natürlichen Sternen verglichen werden kann.

Ich bemerke hierbei, dass für die Herstellung mikrometrischer Vorrichtungen, wie bei LITTROW's lichten Fäden im dunklen Felde (Wien. Ber. XX, 253—290) und bei STAMPFER's Lichtpunctmikrometer (Wien. Ber. XX. 314—326) eine ähnliche Vereinigung der beiden Strahlenkegel bereits mit Erfolg bewerkstelligt worden ist.

Ist diese Verbesserung an meinem Astrophotometer angebracht, so erleidet das Licht der zu beobachtenden Objecte gar keine Schwächung mehr.

Erläuterungen zu den Figurentafeln.

Tafel I.

Fig. 1. Es stellt ab ein leuchtendes Flächenelement vor, welches zwei gleich grosse Flächenelemente cd und $c'd'$ in verschiedenen Lagen beleuchtet. (p. 5.)

Fig. 2. LAMBERT's Figur zur theoretischen Demonstration seines Emanationsgesetzes. (p. 11.)

Fig. 3. BEER's Figur zu demselben Zwecke. (p. 12.)

Fig. 4. Figur zur theoretischen Ableitung des Emanationsgesetzes nach der von FOURIER für strahlende Wärme aufgestellten Hypothese. (p. 17.)

Fig. 5. Schematische Darstellung der von BOUGUER angewandten Methode zur Bestimmung des Emanationsgesetzes für verschiedene Körper. A und B sind zwei ebene Flächen aus der zu untersuchenden Substanz. Beide werden von L aus betrachtet und beleuchtet und durch Variation des Abstandes LB ihre Helligkeiten bei verschiedenen Neigungen von A zu AL messbar verglichen. (p. 20.)

Fig. 6. Graphische Darstellung der von BOUGUER erhaltenen Resultate. AB bedeutet die untersuchte Oberfläche und die von C aus gezogenen Radien die Richtungen des ein- und ausfallenden Lichtes. Die Intensitäten der bei diesen verschiedenen Richtungen reflectirten Lichtmengen sind von C aus auf diesen Radien abgetragen und so die betreffenden Curven construirt. Wäre das LAMBERT'sche Grundgesetz auf alle zerstreut reflectirenden Körper anwendbar, so müsste jene Curve ein Kreis sein. (p. 22.)

Tafel II.

Fig. 1. Der um M gezogene Kreis stellt den Grundriss eines geraden Kreiscylinders dar. Die parallel nach S gezogenen Linien bedeuten die Sonnenstrahlen, die nach E gezogenen Linien die Richtung nach dem unendlich weit entfernten Elemente auf der Erde, welches von der Phase des Cylinders erleuchtet wird. (p. 39.)

Fig. 2. Dasselbe für einen elliptischen Cylinder. (p. 44.)

Fig. 3. Schematische Darstellung der von S her beleuchteten Mondkugel. ab stellt einen Höhenzug dar zur Erläuterung der Schattengrösse in ihrer Abhängigkeit von der Richtung der Bergzüge. (p. 50.)

Fig. 4. Grundriss eines cannelirten Cylinders. Die nach S und E gezogenen Linien haben dieselbe Bedeutung wie in Fig. 1 und Fig. 2. Man hat sich, ebenso wie von dem rechts unten befindlichen S, auch von M aus eine Linie parallel den Richtungen nach dem oben verzeichneten S gezogen zu denken. Die vier auf der unteren Seite des Cylinders gezeichneten Erhebungen stellen theilweise den Grundriss eines mit abgestumpfter Cannelirung versehenen Cylinders dar. (p. 52.)

Tafel III.

Fig. 1. Schematischer Durchschnitt des Photometers, welches bei der ersten Methode zur Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses von Sonne und Vollmond und der Albedo des Schnees benutzt wurde. F ist eine Petroleumlampe, welche ihr Licht vermittelst einer Oeffnung bei r durch die Linse b nach

dem Silberspiegel *c* sendet. Von hier wird das Licht nach dem Polarisationsspiegel *f* reflectirt, welcher das von *o* durch ein Nicol *h* betrachtete Gesichtsfeld halbirt. Bei *d* ist ebenfalls ein Polarisationsspiegel aus schwarzem Glase angebracht, welcher das einfallende Licht in einer zum reflectirten Lampenlicht senkrechten Richtung polarisirt.

Die Vorrichtung, durch welche die Flammenhöhe controlirt wird, ist in der Zeichnung fortgelassen. Bei *r* und *e* können Blend- und Farbengläser eingesetzt werden. (p. 81.)

Fig. 1a. Schematische Darstellung der Seitenansicht des beschriebenen Photometers. *p* ist eine mattgeschliffene Glasplatte.

Fig. 2. Durchschnitt des Photometers, welches bei der zweiten Methode zur Helligkeitsbestimmung von Sonne und Mond gedient hat. Die Strahlen, welche durch ein kleines Diaphragma bei o' in das Photometer fallen, passiren bei *m* eine sehr stark gekrümmte Concavlinse, oder eine Combination mehrerer solcher Linsen, und alsdann die drei Nicols *k*, *i*, *h* von denen *k* und *i* durch eine senkrecht zur Axe geschliffene Bergkrystallplatte von 5^{mm} Dicke getrennt sind. *f* ist eine Convexlinse, welche von der durch *m* sternartig verkleinerten Oeffnung bei *g* ein reelles Bild erzeugt. ee' ist eine durchsichtige, planparallele Glasplatte, welche durch Reflexion von der Vorder- und Hinterfläche ein Doppelbild (*gg*) von o' erzeugt. Durch die alleinige Drehung des vorderen Nicols wird die Farbe, durch gleichzeitige Drehung von *i* und *k* die Intensität der künstlichen Sterne verändert.

Die bei *A* einfallenden Strahlen passiren eine Linse *a* von sehr kurzer Brennweite, welche bei a' ein reelles, sehr verkleinertes Bild des beobachteten Objectes bildet. Von diesem Bilde wird durch die Linse *b* abermals ein verkleinertes und jetzt vollkommen sternartig erscheinendes Bild bei b' erzeugt, Die Nicol'schen Prismen *c* und c', deren Stellungen an dem Kreise dd' abgelesen werden, dienen zur messbaren Abschwächung des einfallenden Lichtes. (p. 95.)

Fig. 3. Durchschnitte zweier Oberflächen, von denen die eine eben, die andere mit Erhebungen bedeckt ist. Zur Demonstration des Einflusses, welchen die Rauhigkeiten einer Oberfläche auf die von ihr reflectirten Lichtmengen ausüben. (p. 112.)

Tafel IV.

Graphische Darstellung der theoretisch und empirisch gefundenen Helligkeiten verschiedener Mondphasen. Als Abscissen sind die Elongationen des Mondes aufgetragen. Bezüglich der Herschel'schen Curve ist zu bemerken, dass dieselbe, durch einen später von mir entdeckten Fehler in den von Herschel angegebenen Mondelongationen, beim abnehmenden Monde weniger gut mit meiner Curve übereinstimmt, als dies in der That der Fall ist. Mit Verbesserung jenes Fehlers fallen beim abnehmenden Monde Herschel's und meine Curve fast vollständig zusammen. Man vergleiche das hierüber p. 115 in der Anmerkung Gesagte. (p. 100.)

Tafel V.

Fig. 1. Figur zur Ableitung meiner Reductionsformel für den Saturn. (p. 139.)

Fig. 2. Einrichtung des Photometers, um mit jedem beliebigen Fernrohre in Verbindung gesetzt zu werden. Die Anordnung der Nicol'schen Prismen und

Linsen im Innern, stimmt genau mit dem in Fig. 2 Taf. III beschriebenen Photometer überein, nur dass die Concavlinse hier in dem horizontalen Theile des Apparates befestigt ist. *G* und *G'* sind zwei cylindrische Glasgefässe, welche im Innern des Messingrohres *HJ* mit einander communiciren. Das Gefäss *G* lässt sich am oberen Theile öffnen, um den Apparat mit Petroleum zu speisen. Durch den Hahn bei *M* kann die Flüssigkeit mit Leichtigkeit wieder entfernt werden. Die Gabel bei *f*, welche mit einem doppelten Draht überspannt ist, dient zur Controle der Flammenhöhe. Bei *e* wird das Photometer durch ein tiefgeschnittenes Schraubengewinde mit dem Fernrohre in Verbindung gesetzt, so dass noch eine hinreichend freie Bewegung um die Axe *CD* stattfinden kann. (p. 148.)

Tafel VI.

Totalansicht des Photometers in Verbindung mit dem sechsfüssigen Refractor der Leipziger Sternwarte, nach einer von Herrn Studiosus H. Vogel gütigst verfertigten Photographie. (p. 149.)

Tafel VII.

Fig. 1. Die Oberfläche eines veränderlichen Sternes nebst der hypothetischen Vertheilung des leuchtenden und nichtleuchtenden Areals zur Erklärung des schnelleren Anwachsens der Helligkeit. (p. 253.)

Fig. 2. Helligkeitscurve eines künstlich veränderlichen Sternes nach photometrischen Bestimmungen. Jedes Intervall der Abscissen entspricht einem Drehungswinkel der Kugel von 10°, so dass bei einer Dauer der Periode von 36 Tagen ein Intervall einem Tage entspricht. Die verschiedene Grösse des leuchtenden Areals bei verschiedenen Stellungen der Kugel ist durch die unter der Curve befindlichen Figuren angedeutet. (p. 255)

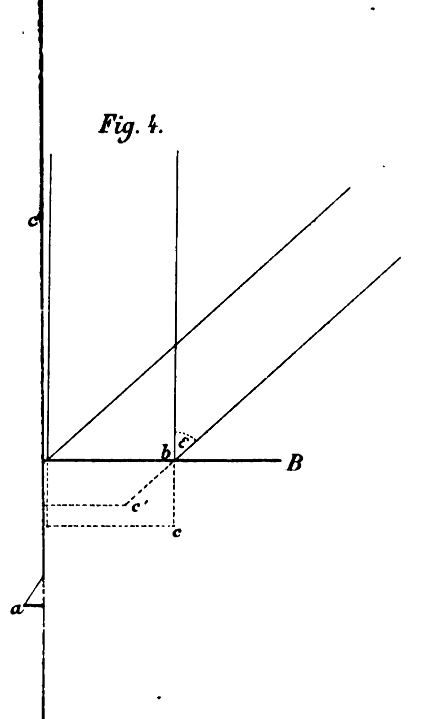
Fig. 3. Schematische Darstellung von Lambert's Methode zur Albedo-Bestimmung irdischer Stoffe. (p. 264.)

Fig. 4. Durchschnitt des Apparates, um die in Lambert's Methode enthaltenen Fehlerquellen zu beseitigen. (p. 269.)

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

Taf. I.

Fig. 4.



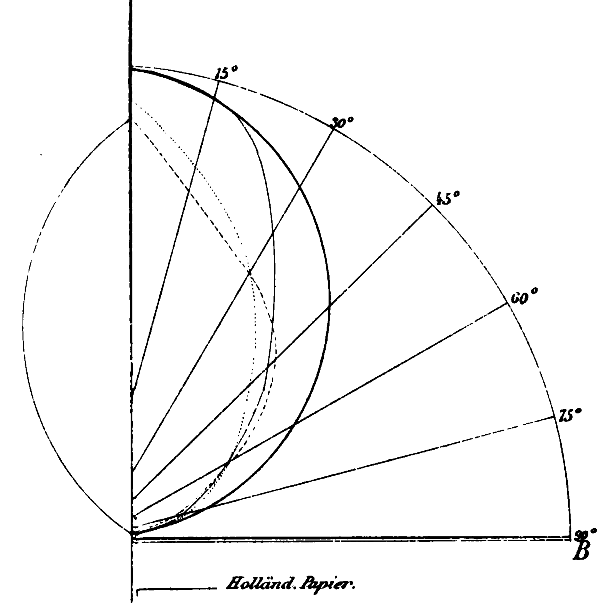
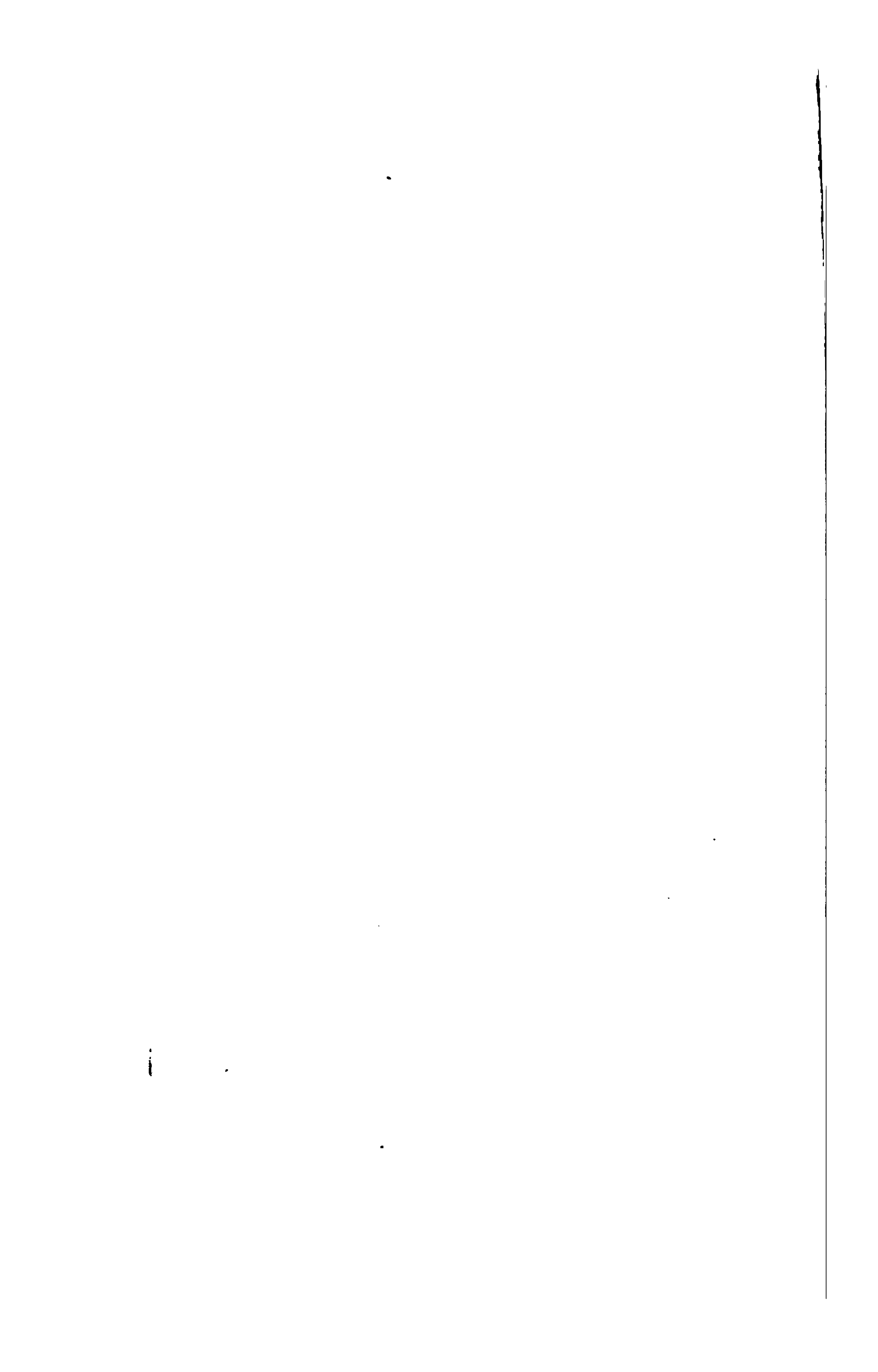


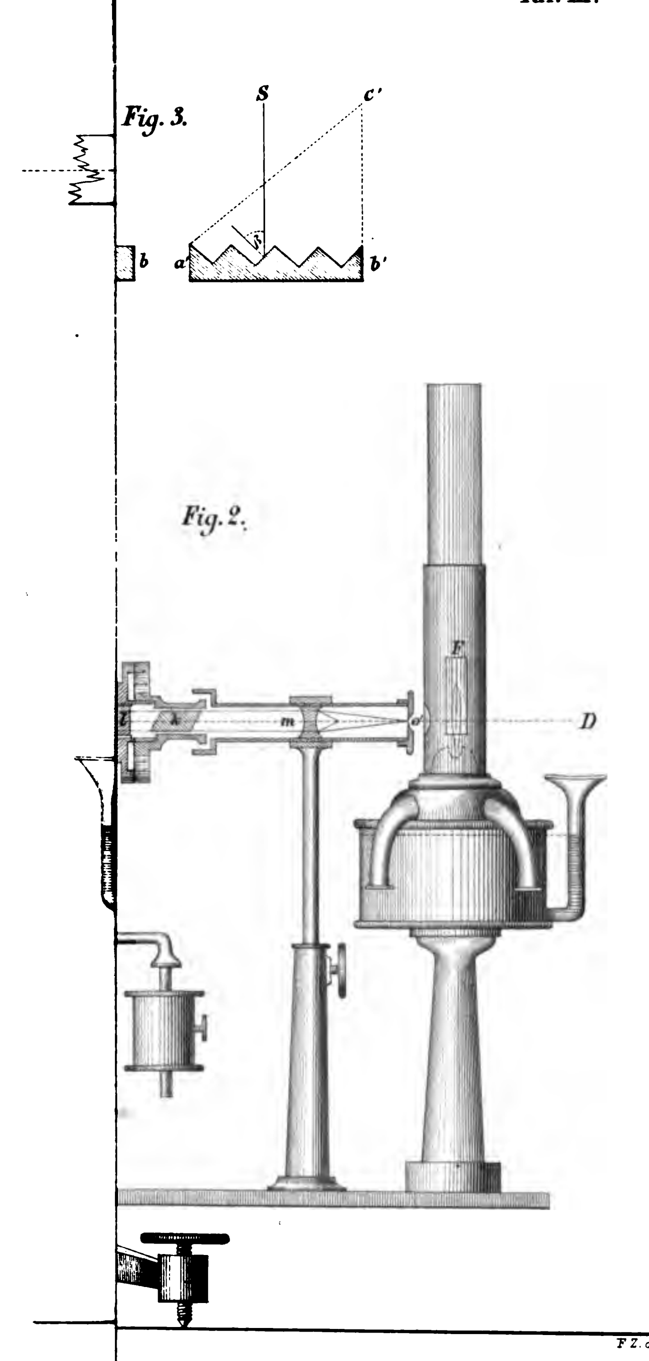


Fig. 1.

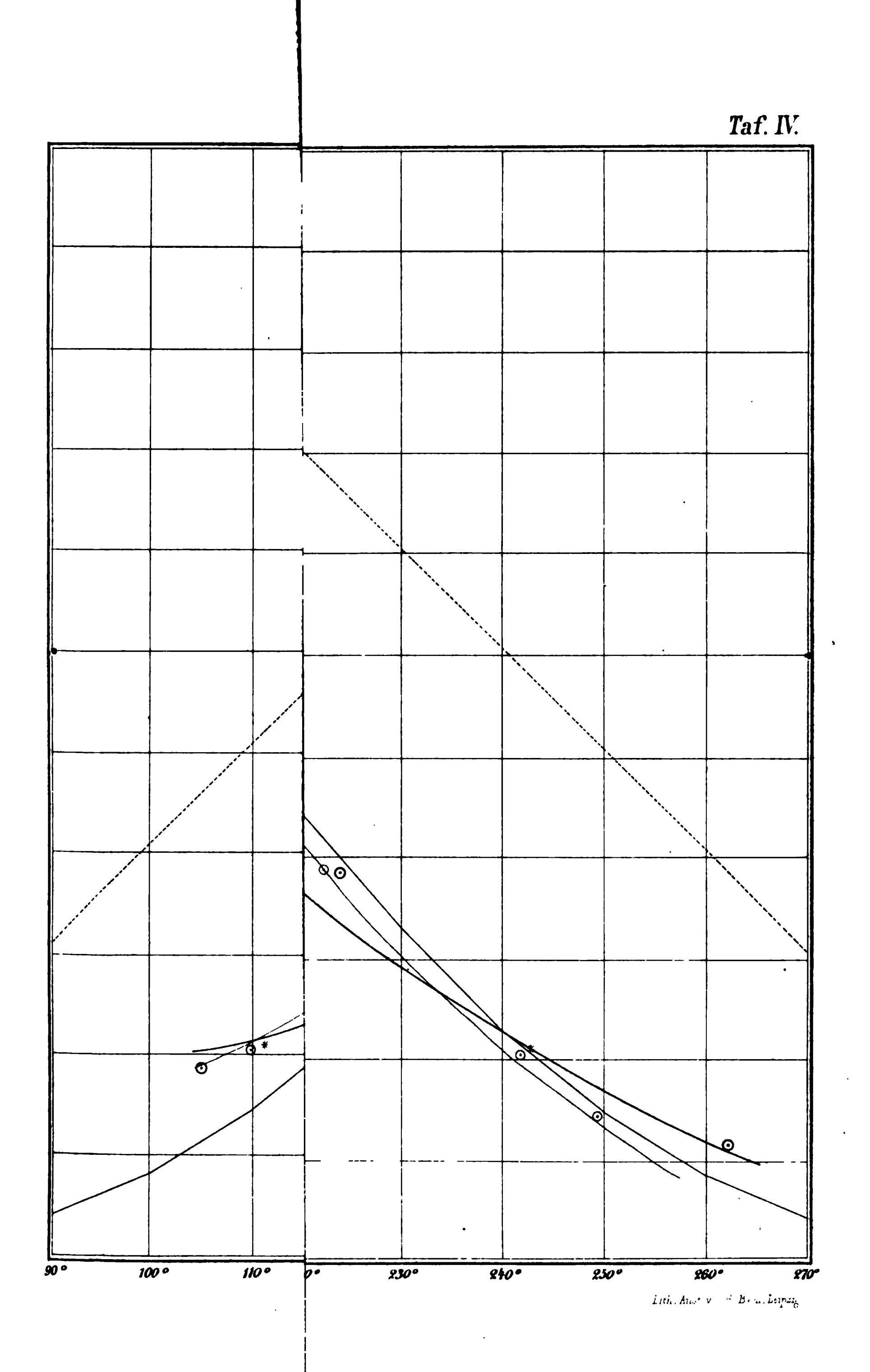
Fig. 2.



Taf. III.

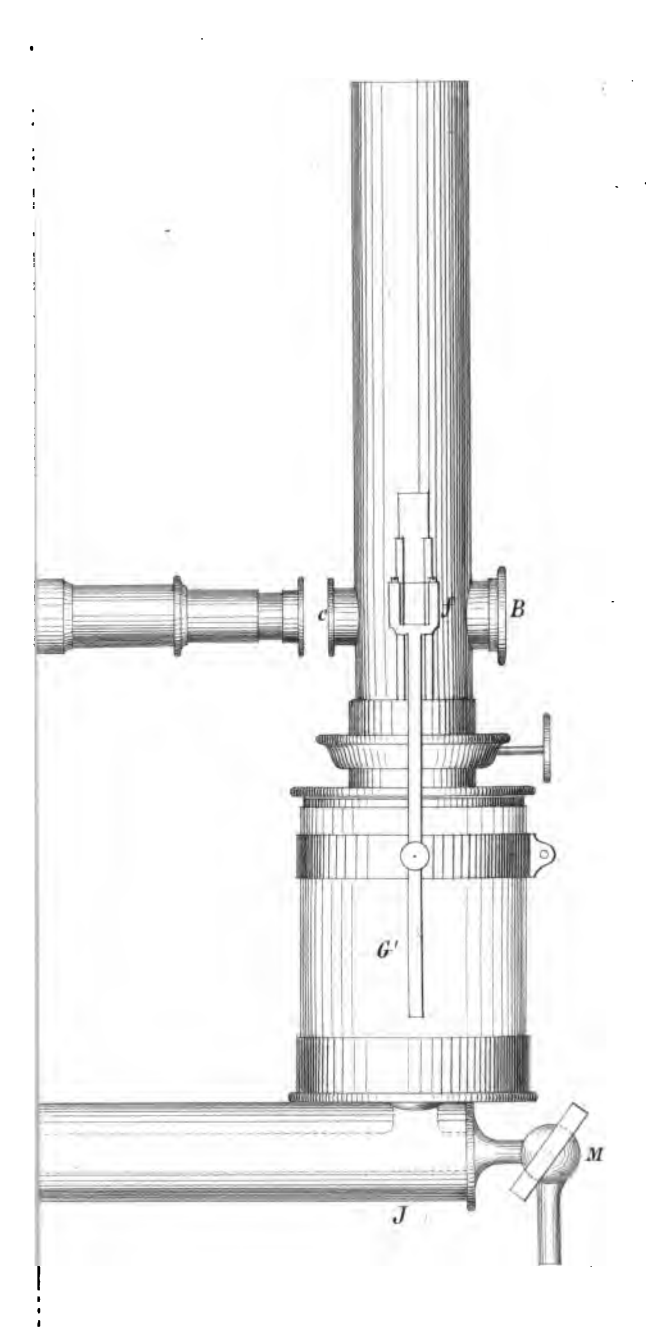


Taf. IV.

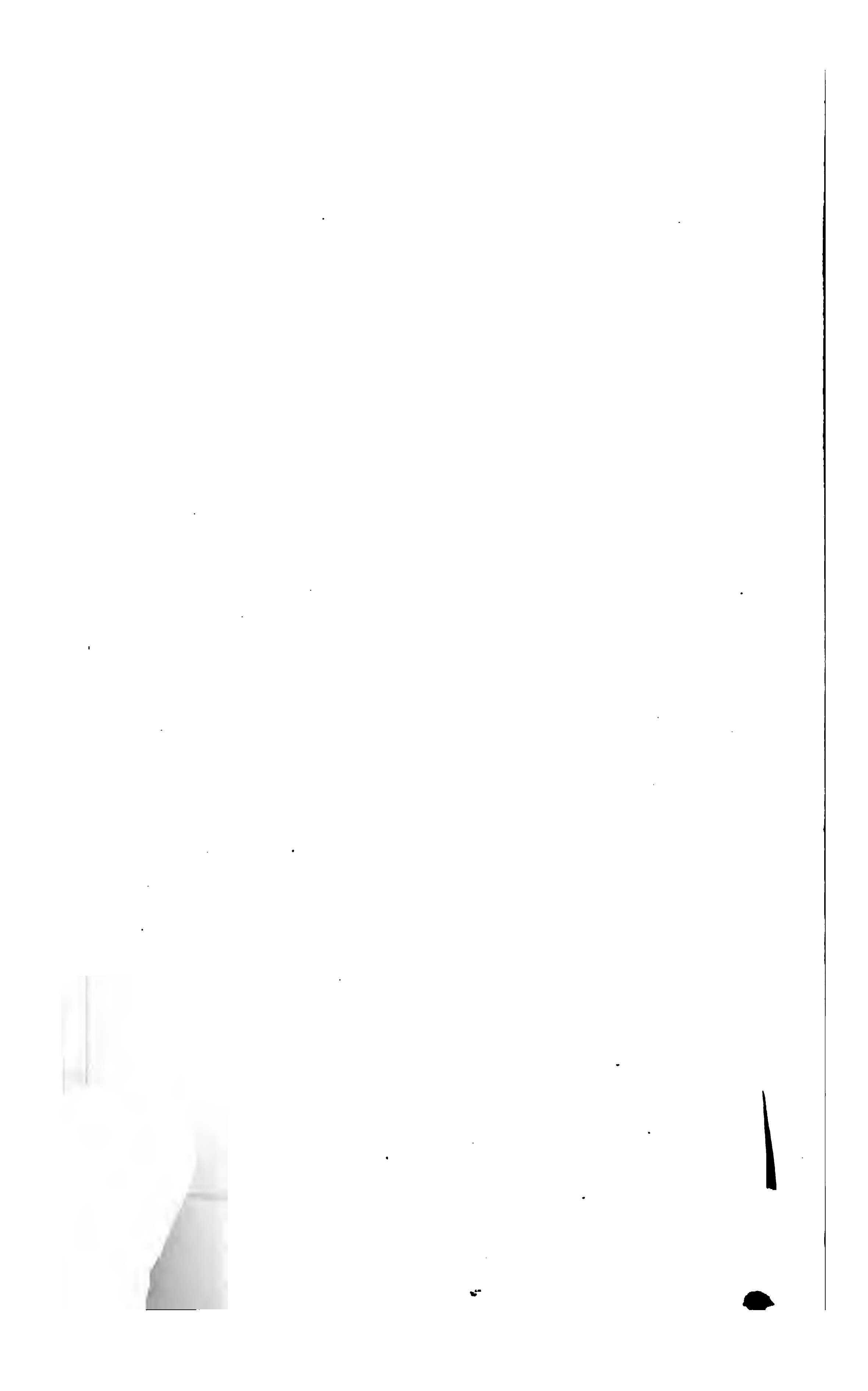


Lith. Anst. v. ... B..., Leipzig

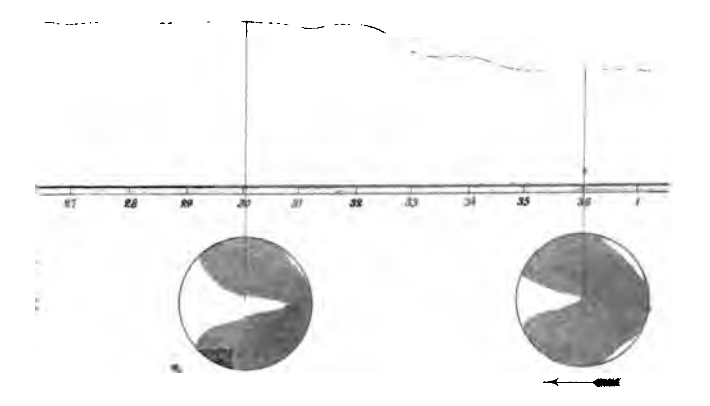
Taf. V.

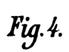


Lith. Anst. v. J. G. Bach, Leipzig.



Taf. VII.





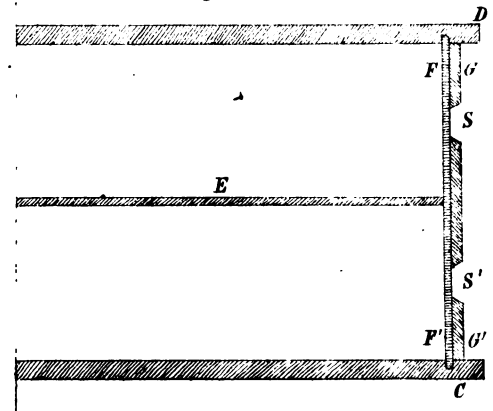


Fig. 4.



